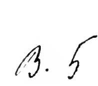
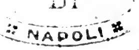

BIBLIOTECA DI ARTIGLIERIA


B. 5

ENCYCLOPÉDIE-RORET.

L'INGÉNIEUR CIVIL.



TOME SECOND.

AVIS.

Le mérite des ouvrages de l'*Encyclopédie-Roret* leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il portera, à l'avenir, la signature de l'Editeur.

MANUELS-RORET.

NOUVEAU MANUEL COMPLET
DE
L'INGÉNIEUR CIVIL,
OU
TRAITÉ SUR L'APPLICATION DIRECTE DES SCIENCES AUX ARTS ET MANUFACTURES,

CONTENANT

DES NOTIONS PRATIQUES TRÈS-ÉTENDUES
SUR LES SCIENCES MATHÉMATIQUES, LA PHYSIQUE ET LA CHIMIE INDUSTRIELLES,
LES MACHINES A VAPEUR, L'ARCHITECTURE CIVILE ET INDUSTRIELLE,
LA CONSTRUCTION DES PONTS, ROUTES, CANAUX, CHEMINS DE FER, CONDUITES D'EAUX;
LES MINES ET LA MÉTALLURGIE.

Par MM.

E. SCHMITZ,
Chevalier de la Légion-d'Honneur, ancien Directeur de la Mine du Creusot, Ingénieur des exploitations métallurgiques de la Maison *Laveissière* frères;

C. E. JULLIEN,
Ex-Ingénieur de l'Atelier de Construction du Creusot, Garde-Mines du département de la Seine;

Et **E. LORENTZ**, Ingénieur Civil.

TOME SECOND.

Ouvrage orné d'un bel Atlas renfermant 28 Planches gravées sur acier.

PARIS,
A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,
RUE HAUTEFEUILLE, 10 BIS.

1845.



NOUVEAU MANUEL COMPLET

DE

L'INGÉNIEUR CIVIL.

DEUXIÈME PARTIE.

MÉCANIQUE.

LIVRE PREMIER.

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES MACHINES.

CHAPITRE PREMIER.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION DES MACHINES.

Les connaissances accessoires à l'étude des matériaux employés dans les machines, sont :

La physiologie végétale, pour les bois;
La métallurgie, pour les métaux ;
L'architecture, pour les formes;
La minéralogie, pour les matériaux en général ;
La physiologie animale, pour les cuirs, graisses, huiles, etc.

ARTICLE Ier.

MÉTAUX EMPLOYÉS DANS LES MACHINES.

Ce sont : le cuivre, le plomb, l'étain, le zinc, le bronze. les fontes d'acier et de fer.

§ 1. — CUIVRE.

Sa densité varie entre 8,788 et 8,895. Il est ductile quand il est pur. Comme il ne décompose pas l'eau, il est très-bon pour les machines à vapeur.

Il est attaqué par les huiles rances. Sa résistance est moindre que celle du fer. Comme il est très-bon conducteur du calorique, il peut s'employer pour transmettre la chaleur. C'est le métal par excellence pour distiller.

§ 2. — PLOMB.

Sa densité varie entre 11,352 et 11,358. Il ne décompose pas l'eau par la température, et ne s'écrouit pas. On en fait peu d'usage, si ce n'est pour tuyaux, réservoirs, masses, joints, etc.

§ 3. — ÉTAIN.

Sa densité varie entre 7,29 et 7,299. Pur, il est plus rarement employé que le plomb. Il est mou et très-fusible. On l'emploie dans les alliages.

§ 4. — ZINC.

Sa densité varie entre 6,861 et 7,191. Il est plus solide que l'étain. Il n'est pas aussi bon conducteur du calorique que le cuivre; il est beaucoup plus fusible. Il s'emploie dans les alliages. Sa légèreté, sa durée et son bas prix font qu'on l'emploie quand on ne craint pas de perdre l'éclat métallique.

§ 5. — BRONZE.

Sa densité est plus grande que celle du cuivre.

C'est un alliage de cuivre et d'étain, dans les rapports :

4 cuivre.
1 étain.

La dureté de ce mélange est presque égale à celle de la fonte de fer. Il n'est pas ductile, et supporte difficilement la percussion. Il résiste assez bien au frottement. Quand la machine dans laquelle on emploie du bronze doit résister à des chocs, on diminue la proportion d'étain; ainsi, dans les canons, on met :

100 cuivre rosette (c'est le cuivre pur).
11 étain.

Dans les machines, le bronze est employé pour servir de coussinets aux arbres. On met 15 p. 100 étain, si les arbres ne sont pas très-lourds, et 20 p. 100 s'ils sont lourds.

§ 6. — LAITON.

Sa densité est plus grande que celle du cuivre.

C'est un alliage de cuivre et de zinc dans les proportions :

2 cuivre.
1 zinc.

Il est plus ductile que l'un et l'autre de ces métaux ; mais il est plus attaquable par l'eau chaude. Il est moins solide que le cuivre. Il ne supporte pas une haute température. Il convient pour les parties apparentes ; il ne vaut rien pour les coussinets.

On fait beaucoup de tripotages dans le laiton du commerce.

Dans les manufactures d'armes, on emploie :

Cuivre 80 en poids.
Zinc 17
Etain 3

§ 7. — FONTES.

Ce sont des combinaisons de :

Matières vitreuses,
Carbone,
Oxide de fer,
Fer.

Ces matières se combinent 2 à 2, 3 à 3, 4 à 4, et suivant le nombre et les proportions des principes combinés.

Les propriétés des fontes varient.

Le fer et les matières vitreuses constituent les fontes de fer.

Le fer et le carbone constituent l'acier. Si le carbone est en excès, l'alliage devient une mauvaise fonte.

La fonte des hauts-fourneaux est composée de :

Fer,
Carbone,
Laitiers.

Si les laitiers abondent par rapport au carbone, la fonte est blanche. Si c'est le carbone qui abonde, la fonte est grise.

La fonte blanche cristallise à petits grains ; elle est plus dure que la grise, et presque autant que l'acier. Elle ne peut convenir pour les ouvrages, à l'extérieur, sans une cémentation.

La combinaison fer, oxide de fer, carbone, laitier, pro-

duit une fonte blanche qui cristallise à larges facettes. Elle est la plus fusible et la plus dure. Elle ne résiste pas à la percussion; elle ne se moule pas bien.

Les fontes se distinguent en :

Fontes blanches,
Fontes grises douces,
Fontes grises dures.

Les fontes grises se coulent en gueusets.

Les grises douces sont d'une cassure noirâtre, et se cassent au ciseau; elles supportent longtemps le marteau sans se rompre. Elles sont solides, peuvent se travailler à l'intérieur et à l'extérieur, où elles sont plus dures qu'à l'intérieur. Ce sont les meilleures pour la fabrication des diverses pièces des machines. C'est avec ces fontes que l'on fait tout.

Il arrive souvent que les dosages n'étant pas bien faits, le carbone se trouve en excès dans le coulage; alors la peau de la fonte est poreuse et contient des points brillants; on la nomme *limailleuse*.

Il y a dans les fontes grises $^1/_{96}$ de retrait dans le coulage. Il est toujours bon de faire des essais sur le retrait avant d'employer une fonte.

Les fontes grises sont beaucoup moins fusibles que les blanches.

L'aspect extérieur suffit pour les reconnaître : leur peau est unie et d'un noir bleuâtre; en fusion, elles sont d'un rouge foncé et coulent tranquillement; il y a un mouvement à la surface qui est plus lent que dans les fontes blanches; elles se refroidissent aussi plus promptement que ces dernières. Si on frappe avec un marteau sur l'extrémité d'une *gueuse* de fonte grise, le son est sourd et l'empreinte du marteau reste; tandis que sur les fontes blanches le son est argentin, et il ne reste pas d'empreinte.

La densité de la fonte blanche est 7,50.

Celle de la fonte grise est 7,20.

En résumé :

La fonte blanche = fer, carbone, laitier en excès par rapport au carbone.

La fonte grise = fer, laitier, carbone en excès par rapport au laitier.

FONTES MÉLANGÉES.

Elles possèdent, à un plus ou moins haut degré, les proprié-

tés des diverses fontes employées, suivant les proportions de ces dernières. Mais comme ces mélanges se font à chaud, les fontes subissent une espèce d'affinage qui les rapproche du fer. Aussi ces mélanges sont-ils plus résistants et plus solides que la fonte ordinaire. On les emploie pour la pression et la percussion. On les nomme fontes *truitées*, à raison des taches rondes qu'elles présentent dans leur cassure.

Si la fonte grise domine, la fonte est *truitée grise*.

Si la fonte blanche domine, la fonte est *truitée blanche*.

On a soin de les remuer quand on les mélange, car elles se rangeraient dans l'ordre de leurs densités.

Pour employer les fontes, on les essaie pour tout ce qu'on en veut faire. On les perce, on les bat, on les charge de poids, on les moule.

Quand on coule dans un moule en métal, on fait ce qu'on appelle une trempe dure. La fonte se dilate et se resserre. Cela vient de ce que la fonte liquide se dilate moins par la chaleur que la fonte solide. Or, elle est rouge quand elle se solidifie, alors elle se dilate; la trempe se fait sans que l'on sache pourquoi.

§ 8. — FER.

Pur ou combiné, il décompose l'eau à une température médiocre.

Quand il est pur, sa tenacité dépasse celle de tous les autres métaux.

Pur, il peut aussi être forgé à froid et à chaud.

Forgé à froid, il prend un écrouissement qu'on lui fait perdre en le chauffant.

Il s'allie à plusieurs métaux, et même à des substances non métalliques.

Ses alliages sont :

Fer manganésié : ce fer est ductile à froid, cassant à chaud, difficile à forger, propre au laminage. La tôle qui en provient est de bonne qualité.

Fer phosphaté : ses qualités sont opposées à celles du précédent; il se travaille bien à chaud, et il est très-cassant à froid; il faut l'éviter.

Fer sulfuré : ce fer est le plus mauvais de tous, casse à froid et à chaud.

La densité du fer forgé est 7,80.

Dans les machines, il faut employer du fer doux et nerveux. Dans les parties destinées à supporter des tractions, on prend du fer dur. Le nerf ne se manifeste que dans les échantillons minces. Le bon fer casse difficilement, quel que soit son calibre.

Lorsque le fer est pur, la texture est grenue. Le fer quarré ne doit pas avoir plus de 27 millimètres (1 pouce), et le fer plat moins de 14 millimètres (6 lignes) d'épaisseur.

Si la cassure est fraîche et forme des crochets, le fer est nerveux.

Si le fer n'est pas nerveux, il casse dru.

La cassure lamelleuse ou à facettes plus ou moins grosses est un signe de mauvais fer.

Un fer mal affiné se reconnaît parce que la cassure est entremêlée de nerfs et de facettes.

Pour examiner une cassure, il faut se mettre à l'ombre.

Il y a trois sortes de fer :

Le fer doux,
Le fer cassant à froid,
Le fer cassant à chaud.

Le premier se laisse tordre et plier à volonté; dans la cassure d'un mince échantillon, il offre des fibres semblables à celles du bois vert. Dans la cassure d'un gros échantillon, il offre des grains bleus.

Il est ductile à chaud et à froid.

On le désigne sous différents noms.

Le fer cassant à froid se casse lorsqu'on le plie ou le frappe. Sa cassure est brillante et à petites facettes. Il se forge bien à chaud, se soude bien; mais il est dur à la lime. On le nomme aussi fer aigre et fer cassant.

Le fer brisant à chaud, se laisse briser et forger à froid. Il est fibreux dans sa cassure. Si la section est rectangulaire, la cassure est crevassée. Il se casse au rouge. Il est ductile au blanc. Il est plus oxidable que les autres fers.

On le nomme fer cassant à chaud, fer brisant, fer de couleur, fer noir, fer cuivreux, fer rouverin.

Le fer peut avoir des défauts provenant de la mauvaise fabrication.

Il y a cinq défauts :

Les *doublures*,

Les *pailles*,
Les *cendrures*,
Les *criptes*,
Les *travers*.

Les *doublures* sont des soudures mal faites, soit parce qu'il y a des matières étrangères, soit parce que les deux parties soudées ensemble n'avaient pas la même température.

Les *pailles* sont des filaments qui tiennent à la barre par un de leurs côtés. Les fers pailleux sont brillants.

Les *cendrures* sont des points noirs grisâtres qui déparent l'ouvrage sans ôter la qualité du métal. Ce défaut est attribué au carbone et aux terres qui se trouvent dans le fer.

Les *criptes* sont des crevasses transversales sur les arêtes des barres.

Les *travers* sont des crevasses suivant la longueur.

Les épreuves du fer se font suivant l'emploi que l'on en veut faire.

Si du fer est dur et cassant à froid, il ne s'allonge pas.

Les épreuves à faire subir à chaud sont : replier le fer à chaud, regarder s'il porte des criptes ou des travers, le souder, l'étirer en pointe, le percer très-près du bord.

On peut aussi replier, souder, fendre, percer et replier.

On peut aussi faire un fer à cheval.

Il faut faire attention à l'influence du calorique.

Un fer forgé en été, et reconnu de bonne qualité, ne peut quelquefois pas supporter les chocs en hiver. En général, le froid rend les corps plus aigres. On ne peut les juger qu'en les éprouvant pendant l'hiver; les métaux se cassent l'hiver.

Dans l'artillerie, on fait subir des épreuves aux essieux des voitures.

On les place sur deux points fixés à l'endroit; ils sont reliés à la voiture, et on laisse tomber sur leur milieu un mouton, d'une certaine hauteur. On les laisse ensuite retomber eux-mêmes.

Pour les pièces d'artillerie, le mouton pèse 307 kilogrammes (614 livres), et tombe de 1 mètre 20 centim. (3 pieds 8 pouces); la flèche qu'il peut former ne doit pas dépasser 5 millimètres (2 lignes).

Quand on fait tomber l'essieu, la hauteur de chute est de 2 mètres 11 centim. (6 pieds 6 pouces.)

Natures du Fer.

En France, on s'en procure de toutes qualités et partout.

Les fers de Bourgogne sont phosphatés et cassent à froid.

Les fers de la Haute-Marne sont nerveux.

Les fers de la Meuse et de la Moselle sont phosphatés.

Les fers de l'Allier, la Nièvre, l'Indre, du Berry sont assez bons; ils sont forts, et ne cassent ni à chaud, ni à froid.

Les fers de la Franche-Comté sont très-bons.

Les fers des Pyrénées seraient très-bons, s'ils étaient bien fabriqués. Ils contiennent du charbon qui les rend aciérés. Ils sont bons pour les instruments aratoires.

Les fers d'Alsace, et surtout de Framont, sont de très-bonne qualité.

Les fers phosphatés trouvent leur emploi dans la fabrication des clous.

Le fer fabriqué par les méthodes anglaises, ou laminé, donne plus d'uniformité; il est bon.

Le fer peut se souder ou s'unir à lui-même à la chaleur blanche, tandis que les autres métaux ne se soudent pas. Ce degré de chaleur a pris le nom de *blanc soudant*.

Le fer dur arrive plus vite au blanc soudant que le fer mou

Pour traiter le fer au marteau, il lui faut de la chaleur afin qu'il ait de la souplesse; de là, les différents degrés d[e] couleur :

Gris, rouge-brun, rouge-cerise, rouge-blanc, blanc soudan[t]

On peut juger, à certaines marques du feu, dans quel éta[t] il se trouve. Au blanc soudant il scintille.

Il y a quatre degrés de chaleur.

On fait arriver le fer à l'un ou à l'autre de ces degrés, sel[on] la grosseur de la pièce à forger, selon le but qu'on se propos[e,] selon la nature du fer. L'opération se nomme donner u[ne] chauffe.

Le premier degré de feu n'est appliqué qu'aux pièces fini[es] afin de dilater le fer et de rendre aux molécules l'état qu'el[les] avaient avant la percussion.

On chauffe au rouge-cerise les pièces de forge que l'on v[eut] réparer.

Le rouge-blanc convient au fer que l'on veut étirer.

Le blanc soudant s'emploie pour souder.

Les opérations sur le fer se réduisent à deux principale[s]

Etirage et Soudure.

Etirer du fer, c'est forcer les molécules à affluer les unes sur les autres, dans le sens qu'on désire, au moyen du marteau. Une chaude ne suffit pas.

Le talent consiste à en donner le moins possible.

1° Il faut donner une chaude égale relative au volume et à la qualité du fer. Cela dépend du vent du soufflet.

2° Il faut frapper le fer avec le marteau en poussant.

Souder du fer, c'est rapprocher deux surfaces pour ne former qu'un seul morceau.

Il y a deux conditions :

1° Il faut que les morceaux à réunir soient également dilatés par le calorique.

2° Il faut que les surfaces en contact ne soient point oxidées.

On distingue trois sortes de soudures :

1° *Par superposition, à chaude partie;*
2° *Echancrée en queule de loup;*
3° *Bout à bout.*

La première s'emploie pour les petits échantillons ;

La seconde pour les échantillons moyens ;

La troisième pour les gros échantillons. Dans ce cas, on strille les surfaces en contact.

Le gros fer, pour être assez chaud, reste plus longtemps au feu que le petit fer ; alors il s'oxide plus.

Pour remédier à cela, on verse un sable d'alumine et de silice qui fond et entoure le fer.

Si le fer est très-gros, on fait des mises. Pour cela, on a deux forges, on réunit les pièces, on les maintient au blanc soudant dans l'une, tandis que l'on fait chauffer, dans l'autre, du fer que l'on applique autour des pièces, et on soude comme il est représenté figure 1re, *Pl.* X.

Ecrouissement.

C'est le rapprochement des molécules opéré par la pression ou la percussion. Lorsque ce rapprochement est rapide, il en résulte de la chaleur.

Le plomb ne s'écrouit pas.

L'écrouissement a une limite, c'est l'élasticité. Une barre battue à froid ne change plus d'état quand elle a acquis assez de dureté.

Pour quelques métaux, comme le fer, on peut dépasser

cette limite, alors ce dernier devient cassant, et finirait par se rompre, si on continuait à le frapper.

L'écrouissement rend les corps plus durs, plus élastiques, et susceptibles de recevoir un plus beau poli.

Le recuit est l'opération qui détruit les effets de l'écrouissement. Si on fait chauffer un métal écroui, il redevient, en volume, ce qu'il était avant l'écrouissement.

Si, après l'avoir fait chauffer, on le laisse refroidir sans percussion, il reste tel qu'il était avant l'écrouissement.

Les métaux écrouis sont plus durs et plus cassants; on les emploie pour supporter les frottements, mais non pour supporter les chocs.

Tôles.

Le fer à l'état de tôle est du fer réduit en lames minces, de différentes dimensions, soit par pression, soit par percussion, dans des ateliers appelés tôleries.

Les outils employés sont : les marteaux et les laminoirs.

Les ateliers au marteau se nomment batteries.

Aux cylindres, ils se nomment laminoirs.

Les produits portent les noms de fer battu, tôle, fer noir.

On ne se sert plus maintenant que des laminoirs. Les tôles laminées sont très-régulières.

Les tôles employées dans les machines doivent être de fer très-doux.

Pour les machines à vapeur, il ne faut pas de fer arseniqué.

Le meilleur fer est le fer manganésié, qui est le même à chaud qu'à froid. Les procédés de fabrication sont les mêmes que ceux du fer. La bonne tôle doit avoir une épaisseur uniforme, et une surface lisse; les pailles et autres défauts du fer nuisent à son apparence et à son emploi.

Il faut qu'elle puisse plier dans tous les sens sans se rompre; mais il convient de recuire la tôle avant de s'en servir.

Elle est bonne quand :

1° Elle est élastique ;
2° Elle a une épaisseur convenable et égale ;
3° Elle est sans doublures, pailles, etc.

Lorsqu'on fabrique les tôles, les pailles se manifestent au bord. C'est pourquoi on les ébarbe.

On reconnaît leur épaisseur au moyen d'un instrument.

On reconnaît par l'élasticité si la feuille n'a pas été brûlée,

On examine la tôle sur les bords, pour voir s'il n'y a ni doublures, ni pailles.

Elles reçoivent différentes dimensions. On les divise en tôles fortes et tôles minces.

Les tôles minces sont celles dont l'épaisseur n'excède pas 3 millimètres (1 1/2 ligne). Les tôles fortes sont celles qui dépassent cette limite.

On fait usage de fer-blanc.

Le fer-blanc est du fer recouvert d'une feuille d'étain très-mince sur ses deux faces.

Cette feuille peut être plus ou moins épaisse.

Le meilleur fer-blanc est celui qui a un peu d'épaisseur de plus après l'application de l'étain.

La tôle laminée est ce qui convient le mieux pour le fer-blanc.

Il y a deux espèces de fer-blanc :

Le fer-blanc terne, et le fer-blanc brillant.

La tôle mince destinée à faire le fer-blanc se nomme fer noir.

Fil de fer.

C'est le produit de la traction des barres très-minces que l'on oblige à passer successivement par des trous dont les diamètres vont en décroissant, et appelés filières. Le fil éprouve ainsi un grand écrouissement et une grande dureté; c'est pourquoi il convient de le faire recuire. Il se fabrique dans les usines appelées tréfileries et fileries. Le fil de fer doit être fait avec du bon métal. Il est nerveux, puisqu'il est réduit aux plus petites dimensions qu'on puisse lui donner.

A poids égal, le fil de fer supporte un plus grand poids que le fer en barre. Il en est de même de tous les métaux passés à la filière.

Le fil de fer doit avoir une cassure claire et crochue. Si la cassure présente une couleur sombre, une excavation à l'un des bouts et une pointe conique à l'autre, il est mauvais. Il faut pouvoir plier et replier le fer sans qu'il se rompe, ni se fende, pour qu'il soit bon.

Le fer rouverain passé à la filière présente des solutions de continuité. Si le fer est alternativement dur et mou, il est mauvais. Le défaut de rondeur, les rayures, le défaut de poli, viennent des filières qui sont mal faites.

On fait aussi usage de fils de laiton.

Comme cet alliage n'est ductile qu'à froid, on le passe à la filière à froid; on lui fait perdre ensuite l'écrouissement.

Classement des fers dans les forges.

Le fer de grosse forge, ou fer marchand, est du fer de 19 à 63 millimètres (8 lignes 1/2 à 28 lignes).

Le fer plat est de 29 à 135 millim. (13 à 60 lignes) sur 9 millim. (4 lignes) et au-dessus.

Le fer de petite forge quarré est de 16 à 18 millim. (7 à 8 lignes); rond, il a de 18 à 54 millim. (8 à 24 lignes) de diamètre; plat, de 18 à 27 millim. (8 à 12 lignes) sur 9 millim. (4 lignes) et au-dessus. Il y en a de 29 à 108 millim. (13 à 48 lignes) sur 7 millim. (3 lignes).

Le gros martinet est du fer quarré de 11 à 14 millim. (5 à 6 lignes) de côté; le rond a 14 à 16 millim. (6 à 7 lignes) de diamètre; le plat, 18 à 27 millim. (8 à 12 lignes) sur 5 à 7 millim. (2 à 3 lignes).

Le petit martinet quarré a 7 à 10 millim. (3 à 4 1/2 lignes); on le nomme carillon; le rond a 7 à 11 millim. (3 à 5 lignes) de diamètre; le plat a 14 à 16 millim. (6 à 7 lignes) sur 3 à 6 millim. (1 1/2 à 2 1/2 lignes).

On fait encore des fers plats qui sont très-minces et passés au laminoir; on les emploie pour cercler les tonneaux; on les nomme cercles et rubans de 38 à 41 millim. (17 à 18 lignes).

Il y a des mi-rubans de 29 à 36 millimètres (13 à 16 lignes) et des rubans de 18 à 27 millimètres (8 à 12 lignes) de large.

On fait encore au laminoir un fer quarré de très-petit échantillon. On l'emploie pour faire des clous. On distingue la verge douce et la verge métis.

§ 9. — ACIERS.

Ils sont beaucoup moins employés dans les machines que le fer. Ils sont spécialement destinés à la fabrication des outils et de certaines pièces des machines qui exigent une grande dureté.

L'acier se compose de fer et carbone.

Outre cette combinaison, il peut se trouver : silice, verres siliceux, oxide de fer, des métaux, du soufre, du phosphore et des phosphates.

Toutes ces matières modifient l'acier.

1° *Fer et carbone.*

L'acier qui en résulte est d'autant meilleur, que les matières employées sont plus pures.

Si le fer est pur manganésié, l'acier qui en résulte est solide,

élastique, propre à faire des ressorts et des tranchants; il n'est pas le plus dur.

Il se prépare par la cémentation, et se nomme alors acier de cémentation.

L'acier *poule* est l'acier non trempé.

L'affinage de l'acier a pour but de rendre la matière plus homogène. Il diminue la quantité de carbone et augmente celle d'oxide de fer.

L'acier de cémentation doit être plus cassant que ce qui est nécessaire pour l'usage qu'on en veut faire, l'affinage lui faisant toujours perdre une partie de cette propriété.

Il y a l'*acier naturel*, qui est fer, carbone, scories des hauts-fourneaux. Il est plus dur et plus cassant que le précédent. Les éléments y sont imparfaitement mélangés.

Cet acier est plus répandu dans le commerce qu'aucun autre. On peut l'obtenir soit en traitant directement le minerai, soit en traitant la fonte.

Par la première méthode, l'acier n'est jamais aussi bon; il est ferreux.

Les aciers naturels diffèrent entre eux, mais ils ont des caractères communs. L'affinage et la trempe changent la texture et la couleur du grain.

Quelquefois on remarque dans la cassure de l'acier une tache que l'on appelle la rose; elle se forme lorsqu'on trempe de grosses barres d'acier dans l'eau et qu'on les retire sans les avoir laissé refroidir. Les roses prouvent que l'acier n'est pas ferreux.

L'acier naturel est sujet aux pailles et aux doublures. Après la trempe, il est moins cassant que les autres; il se forge et se soude bien.

On le connaît sous les noms d'acier naturel, acier de forge, acier de fusion, acier de terre, acier d'Allemagne.

L'*acier sauvage* est recherché pour les filières; on ne le prépare que pour cela. Il est excessivement dur, non soudable, ni malléable; il forme un produit intermédiaire entre l'acier et la fonte.

L'*acier fondu* est une combinaison de fer, carbone et verre siliceux. Lorsque les trois composants sont bien établis, le mélange peut fondre. C'est le plus propre aux ouvrages homogènes. Il est dur et difficile à forger. On ne le soude que difficilement au fer. On en fait des tranchants très-solides, sans qu'il soit nécessaire de le tremper très-chaud.

On peut l'obtenir en fondant du fer pur avec du verre pilé et du carbonate de chaux.

L'acier fondu est plus homogène que tout autre ; il est exempt de cendrures; il est peu soudable; on ne peut le chauffer qu'au rouge-cerise.

On l'emploie pour faire les burins, les filières, les laminoirs des orfèvres, les instruments fins et tranchants.

L'*acier Wootz* est : fer, carbone, silice.

On le prépare dans les Indes. Il est fusible. C'est le plus dur des aciers, propriété qu'il doit à la silice; c'est celui que la forge détériore le moins. On l'a employé pour faire des damas, des lames de sabres. On l'emploie en mélange avec le fer sous le nom d'étoffe.

L'étoffe est un composé de lames minces de fer et d'acier soudées ensemble. On les forge ensuite.

Dans ce mélange, l'acier fournit la dureté, et le fer la ténacité. Il résiste aux chocs et aux frottements.

Après la trempe, la cassure a un grain plus gros. Les effets de la cristallisation sont plus sensibles; on croit devoir attribuer la trempe à une cristallisation.

Le volume de l'acier trempé est $^1/_{48}$ plus fort qu'auparavant.

Le liquide le plus employé pour tremper l'acier est l'eau froide. On la prend courante, de préférence. L'eau chaude durcit moins.

Le mercure trempe plus fortement, mais il aigrit l'acier.

Pour obtenir une trempe plus ou moins forte, on a recours aux courants d'air.

Quelquefois on trempe les objets délicats dans les mâchoires d'un étau.

Les acides durcissent plus l'acier que l'eau. Les corps gras, comme suif, huiles, cire, savon, trempent moins fortement que l'eau.

On les emploie avec succès pour tremper les tranchants délicats. Cela évite les gerçures.

L'acier doit être chauffé avec rapidité au milieu de charbons. On ne donne qu'un vent faible pour empêcher l'oxidation. On chauffe plus les parties épaisses que les minces; on évite de donner une chaude trop forte.

Il est difficile de saisir *a priori* le degré de chaleur qui convient pour lui donner le plus de résistance, de dureté et d'élasticité.

Il acquiert chacune de ces qualités aux dépens des deux autres.

Quand on ne l'a pas trempé assez dur, on peut recommencer. Si on l'a trempé trop aigre, on le recuit.

Pour recuir l'acier, il suffit de l'exposer à la chaleur.

Si on expose un outil trempé à une température égale à celle employée pour opérer la trempe, on lui fait perdre toute la dureté qu'il a acquise par la trempe. Le reste est en raison directe.

Si on trempe un morceau, le décape avec une meule, et l'expose à l'action graduée de la chaleur, sa surface s'oxide ; elle prend des couleurs qui servent de guide pour le recuire et lui laisser la dureté qu'on désire.

Couleurs :

1° *Jaune-pâle*,	5° *Violet*,
2° *Jaune*,	6° *Bleu*,
3° *Orangé*,	7° *Vert-d'eau*,
4° *Rouge*,	8° *Gris*.

Il faut apporter beaucoup d'attention dans le recuit.

Les couleurs ci-dessus précèdent le feu rouge-brun.

Quand la pièce est arrivée à la chaleur convenable, on la retire et la laisse refroidir.

Les outils qui doivent avoir de la tenacité sont recuits au bleu.

Ceux qui doivent être durs sont recuits au jaune.

Il y a deux sortes de trempe :

1° Trempe à la volée,
2° Trempe en paquet.

La première consiste à chauffer à feu nu et promptement une pièce isolée et à la plonger dans un milieu refroidissant.

La deuxième consiste à chauffer beaucoup et également. On met la masse dans une enveloppe et on l'environne d'une matière charbonneuse qui l'empêche de s'oxider. A la température convenable, on trempe.

On a donné le nom général de trempe en paquet, aux pièces entourées d'un cément, soit qu'il y en ait plusieurs, soit qu'il y en ait une seule.

On soumet le fer à cette opération quand on veut le changer en acier.

La température doit être alors au rouge-blanc, et assez long-

temps pour que la cémentation pénètre. Si on casse après la pièce, la surface seule est durcie.

Pour cela, on a une boîte en tôle; on y met du fer entouré de charbon. Il faut de l'habitude pour cela; on a un témoin, ou pièce facile à retirer, qui indique la couleur.

Les pièces d'acier trop chauffées se désacièrent à la surface; alors on les retrempe en paquet.

Les cémentations du commerce sont :

Aciers double rasoir;
Aciers à l'éperon;
Aciers à double marteau, feuille de chêne;
Aciers sept étoiles, Schildborgne;
Aciers *idem* français.

Dans les aciers fondus, les meilleurs sont :

Aciers Huntzmann,
Aciers Cast Steel et Stubs.

Ces aciers s'emploient pour faire les matrices des médailles.

ARTICLE II.

BOIS.

Les bois seraient très-précieux dans les machines, s'ils n'étaient pas combustibles, altérables et variables de formes, et surtout si l'on n'était obligé de leur donner des dimensions trop massives.

Il est des bois qui, à poids égaux, sont plus solides que les métaux. Ils coûtent moins d'achat et de façon; s'offrent sous de plus grandes dimensions, et jouissent de la propriété d'absorber une partie des chocs par leur élasticité.

Ils se trouvent dans la nature sous les plus grandes dimensions; mais ils varient suivant les points où on les prend; depuis la racine jusqu'à la cime; depuis l'axe jusqu'à l'écorce.

La partie la plus molle de l'arbre est la surface sous l'écorce; elle s'appelle *aubier.*

De plus, les branches laissent dans les arbres des insertions que la croissance de l'arbre ne fait pas disparaître.

Il y a des exceptions dépendantes de l'espèce et de la végétation.

Ceux qui naissent sur les bords des forêts sont plus noueux que ceux qui naissent dans l'intérieur. Il y a des arbres dont les couches sont irrégulières et entrelacées suivant une loi dont on ne s'est pas encore rendu compte. Dans les arbres qui ont

très-peu d'aubier, la totalité des bois a partout la même dureté. Si l'arbre est sur le retour, l'altération commence à l'intérieur.

Il est une époque de maturité à laquelle il faut couper les arbres pour les utiliser.

On peut juger de l'âge des arbres par le nombre des couches ligneuses mises à découvert par une section transversale.

Elles sont plus dilatées dans le tronc que dans le reste, et séparées les unes des autres par une matière plus molle, surtout dans les conifères.

La solidité des bois dépend de ces couches solides que l'on peut considérer comme des cylindres concentriques. Cette texture est une des causes de la raideur et de l'élasticité des arbres. Ces couches sont composées de fibres droites qui ont une grande densité et qui sont très-dures.

Tous les bois sont hygrométriques, et l'humidité qu'ils prennent altère leurs formes et leurs dimensions. Ces altérations n'ont pas lieu dans les fibres ligneuses.

Les arbres augmentent de volume par l'humidité dans le sens de leur diamètre, la longueur restant invariable.

Il y a des bois très-destructibles, d'autres très-peu destructibles.

On peut consulter, pour les propriétés des bois, l'ouvrage de *Duhamel de Monceaux*.

§ 1er. — CHÊNE ORDINAIRE (*Quercus*).

Ses variétés sont nombreuses. Le chêne des Vosges est bon pour les ouvrages de menuiserie. Il est bon pour les modèles; il ne vaut rien comme support ou ressort.

Le chêne de Bourgogne est en général assez solide comme support.

Le chêne vert (*Quercus robur*) résiste le mieux à l'air, à l'eau, à la pression et à la chaleur.

Il est plus pesant; ses dimensions sont plus petites que celles du chêne commun; il est très-tortueux. Son aubier est blanchâtre, le bois en est brun.

Il est plein, ses pores sont petits; il est dur et susceptible d'un beau poli. Il se fend en séchant. Il résiste plus que le chêne blanc; il résiste bien aux frottements.

§ 2. — ORME (*Ulmus*).

Il est moins pesant que le chêne et moins capable de résistance comme support; il résiste aux chocs. Il convient pour les machines, cependant.

L'orme à larges feuilles est le moins bon. On peut l'employer comme support dans les lieux humides. La meilleure espèce d'ormes est l'orme tortillard. Ses feuilles sont plus petites; son écorce est plus raboteuse; le tronc est recouvert de bosses; le bois en est très-dur; il ne se prête pas à la fente; il est trop rebours pour être employé dans la menuiserie; les charrons l'emploient avantageusement à faire des moyeux et des jantes de roues, des vis en bois, etc.

Son aubier est si dur, quand il n'est pas trop sec, qu'on le laisse faire partie des moyeux. Il ne vaut rien pour les modèles.

§ 3. — CHARME (*Carpinus*).

Il est aussi dur que l'orme, mais ne résiste pas aussi bien à l'eau. Il a peu d'aubier, son tissu est uniforme, il prend un plus beau poli que l'orme et cause moins de frottements.

On emploie le charme à faire des dents de roues d'engrenages, des fuseaux de lanternes, etc. Le charme forcé est cassant, et ne peut en général fournir de grosses pièces.

Les charrons emploient ce bois à faire des essieux.

Il est trop dur pour faire des modèles, et ne s'emploie guère dans les machines, parce qu'il travaille.

§ 4. — HÊTRE (*Fagus*).

Dans les forêts, il porte le nom de *foyard*. C'est un des bois les plus précieux dans les arts. On l'emploie à supporter les chocs; il se pourrit dans l'eau, mais il se découpe facilement quand il est vert. On en fait des sébiles, des sabots, des rames, etc.

Dans les forêts, on en fait de larges copeaux, pour mettre derrière les glaces à bon marché.

Le frottement du hêtre est très-dur; il est sujet à être piqué des vers et craint l'humidité. Il a, d'autre part, le grand avantage que ses fibres interrompues ne se lèvent pas.

§ 5. — CORMIER (*Sorbus domestica*).

C'est un bois très-dur, presque exempt d'aubier, d'un grain uniforme, frottant peu; il est devenu rare. Ce bois est très-bon pour les vis de pression. Il est avantageusement employé pour faire des dents d'engrenages, pour les rabots, etc.

§ 6. — ALISIER (*Crategus*).

Il sert à peu d'usages. On pourrait l'employer pour dents de roues, à défaut d'autre. On peut le prendre sous de petites dimensions.

§ 7. — CORNOUILLER (*Cornus*).

C'est le plus dur des bois indigènes après le buis. Il est très-difficile à rompre.

C'est le bois par excellence pour les supports.

Il ne se présente que sous de petites dimensions; il est alors avantageusement employé pour bâtons d'échelles et manches de marteaux, etc.

§ 8. — TILLEUL (*Tilia*).

Il a le bois uniforme, tendre et facile à couper. Il convient pour les modèles.

§ 9. — MARRONNIER (*Hypocastanum*).

Ses usages sont analogues à ceux du tilleul. Il lui est inférieur, en ce qu'il est léger, blanc, spongieux, buvant l'eau et se pourrissant facilement.

§ 10. — NOYER (*Juglans*).

Il est employé dans les arts économiques. On donne à ses fibres une courbure déterminée à la vapeur. C'est le bois par excellence des carrossiers. Il est moins dur que l'alisier, le cormier et l'orme; il se polit bien, se coupe net dans tous les sens, convient pour modèles.

§ 11. — AULNE (*Alnus*).

Il a une couleur rouge agréable; il est tendre, facile à travailler, porte bien la moulure. Il est propre aux modèles. Il est bon dans les constructions hydrauliques. Sa durée dans l'eau est illimitée. Son charbon ne pétille pas au feu.

§ 12. — ÉRABLE (*Acer*).

S'emploie pour faire les modèles.

§ 13. — PEUPLIER (*Populus*).

Il n'est pas bon pour modèles. Il résiste bien aux frottements durs. Il s'emploie dans les charpentes.

§ 14. — BOIS CONIFÈRES.

Ils ont une forme pyramidale, et de petites branches par rapport au tronc; ils ont des nœuds durs.

Ce sont les arbres verts :

Pins (*Pinus*);
Sapins (*Abies*);
Mélèze (*Larix*).

Il y a un choix à faire. Les uns sont cassants, les autres résistants. Ils ne régénèrent pas les parties cassées.

Dans le mélèze seul les branches repoussent.

Ils sont résineux, fournissent les meilleurs supports, joignent la raideur à l'élasticité. Ils sont légers. On peut faire les charpentes en sapin. On doit donner la préférence au sapin, dans les parties immobiles des machines, surtout pour supports verticaux.

Le pin Sainte-Bro pourrit avec une extrême promptitude; les vers ne l'attaquent pas; il est bon pour meubles et modèles.

Le pin Sylvestre résiste le mieux de tous à l'humidité.

Tous ces bois sont inférieurs au mélèze.

Le mélèze est le plus solide et le plus durable de tous les bois, on le nomme pour cela l'immortel.

Vers la fin du XVIII[e] siècle, Malesherbes trouva une maison en mélèze, portant la date de 1592; les bois étaient encore sains.

Ce bois peut être employé à tout; il jouit de toutes les propriétés désirables.

Le pin est plus résineux que le sapin, et ce dernier plus que le mélèze.

Le pin est de bonne qualité, s'il n'est pas blanc, mais jaune-clair, et s'il n'a pas le grain fin et serré; c'est donc le plus lourd qui est le meilleur. Ses cercles ne doivent pas être trop épais. Il doit s'en trouver un chargé de résine. Coupé et exposé au soleil, il doit suinter de toutes parts une résine d'une bonne odeur. S'il est rouge et si sa résine est noirâtre, il est près de se pourrir.

Il faut un certain âge pour que le pin soit bon. Jeune, il a trop d'aubier; la couleur de son bois doit être uniforme.

Les pins qui présentent des couleurs variées doivent être rejetés. Ils ne doivent pas avoir trop de nœuds.

§ 15. — GAÏAC (*Gaïacum*).

On l'emploie avec succès pour les dents de roues d'engrenages, rouets de poulies, supports d'arbres, coussinets, etc. Il se polit très-bien.

Cet arbre de l'Amérique méridionale a pour densité 1,333.

§ 16. — BOIS DE FER (*Sidero silum*).

Son aubier est rouge, tandis que celui du premier est jaune. Le premier est préférable.

ARTICLE III.

CORPS FLEXIBLES EMPLOYÉS DANS LES MACHINES.

§ 1er. — CORDAGES.

Les cordages offrant une certaine raideur ou résistance à la flexion, il faut vaincre cette raideur avant d'avoir utilisé la force qui leur est appliquée; c'est pourquoi il faut les employer le moins possible.

Leur raideur est proportionnelle au quarré du diamètre; il est donc plus avantageux de placer plusieurs cordes fines les unes à côté des autres, plutôt qu'une grosse corde. Mais aussi, les cordes plates ne peuvent transmettre le mouvement que d'un arbre à un arbre parallèle.

CONSTRUCTION DES CORDES.

Chanvre.

Le chanvre n'est pas *hermaphrodite*, comme on l'a prétendu. Il y a les mâles et les femelles. Quand on sème du chanvre, il faut semer dru. Quand le chanvre est recueilli, on fait tomber les grains, et on le porte dans le *routoir*. Le routoir est une chambre remplie d'eau. Quand le chanvre y a été placé, on met de la paille dessus, puis ensuite de la terre. Il faut faire en sorte qu'il ne touche pas le fond de la fosse. Cela est très-facile, il suffit de n'en pas mettre trop; car il n'entre dans l'eau que par le poids qui est dessus.

Sa tige est creuse et contient une moelle tendre autour de laquelle est un bois léger appelé *chènevotte*. Dessus est une écorce mince composée de fibres qui s'étendent sur toute la longueur de la tige. Le rouissage décompose le tissu cellulaire et lâche les fibres. Il ne faut pas rouir le chanvre trop longtemps, sans quoi il se pourrit. S'il n'a pas roui assez longtemps, la filasse est adhérente après la chènevotte; il est un milieu à garder dépendant de la qualité de l'eau.

Le chanvre rouit mieux dans une eau dormante que dans une eau courante; dans une eau croupie que dans une eau claire; à une haute température plutôt qu'à une basse; quand il a été semé dans une terre humide plutôt que quand il a été semé dans une terre sèche. Au sortir du routoir, on le fait sécher au soleil.

Ensuite on *teille* ou on broie.

Pour broyer, on se sert de la machine représentée figures 2 et 3, *Pl.* X.

Il vaut mieux *teiller* le chanvre long, et broyer le chanvre court.

Quand cette opération est faite, on fait une queue de chanvre. Il se vend ainsi au poids.

Il faut éviter qu'il soit mouillé, tant pour l'acheteur que le vendeur, car : 1° il pèse plus ; 2° il se pourrit très-vite.

On distingue deux bouts dans la queue :

L'un aboutit à la cime et se nomme *pointe;*

L'autre aboutit à la tige et se nomme *patte*.

Les pattes doivent être plus volumineuses que les pointes. De plus, il faut que la queue soit bien garnie aux trois quarts de la longueur.

Le chanvre broyé est plus doux que le chanvre teillé. Sa couleur dépend de l'eau dans laquelle il a roui.

Le chanvre de couleur argentine est le meilleur. Le vert est bon aussi ; le jaunâtre n'est pas fameux ; le brun ne vaut rien. Cette dernière couleur indique qu'il a trop roui, ou qu'il s'est trop échauffé en balles.

Quand on achète du chanvre, il faut examiner si les queues sont de différentes couleurs.

De plus, celui qui sent le moisi ne vaut rien; une odeur forte indique qu'il est de la dernière récolte.

Il y a dans le chanvre des brins plats et des brins ronds. Les premiers s'affinent mieux que les autres. Le chanvre fin, moelleux, souple, doux, difficile à rompre, est le meilleur.

Le chanvre mâle se récolte trois semaines avant le chanvre femelle, qui, restant trop longtemps sur pied, est moins bon que le premier.

Le chanvre d'Italie est le meilleur.

Préparation.

On *espade* le chanvre pour le débarrasser de la chènevotte qu'il contient. On rompt les rubans formés par la filasse. Pour l'espader, on emploie l'outil représenté figure 4, *Pl.* X.

On le peigne ensuite, pour le démêler et désunir les fibres, séparer les filaments longs des filaments courts. De là on le passe au fer, ou frottoir.

48 kilog. 95 centig. (100 livres) de chanvre de Bourgogne donnent :

1[er] brin, 28 kilog. 145 grammes (57 livres 8 onces). — 2[e] brin, 8 kilog. 311 grammes (17 livres). — 3[e] brin, 4 kilog. 895 grammes (10 livres). — Etoupes, 2 kilog. 447 grammes (5 livres). — Déchet, 5 kilog. 384 grammes (11 livres).

On réunit les queues de chanvre pour former un peignon. Ce peignon se file à la quenouille ou à la ceinture. Le chanvre se file le plus généralement à la ceinture. On file jusqu'à 325 mètres (1000 pieds) de long. Les bouts, en filant, s'enroulent en hélices les uns sur les autres. On forme ainsi les éléments des cordes ou fils de caret.

Ces fils se roulent ensuite les uns sur les autres pour faire les cordes.

Avant d'en faire des cordes, on roule les fils de caret sur une bobine appelée *touret*. Ce chanvre a été filé à sec. Il doit être uni et égal sans présenter de mèches.

Il y a deux espèces de cordages :

Les cordages simples,

Les cordages grelins.

Les premiers résultent de la conversion des fils en cordes. Les seconds consistent dans la réunion de plusieurs cordages simples.

Quand les cordes ont 49, 54 et 60 centimètres (18, 20 et 22 pouces) de circonférence, on les nomme *câbles*.

Les cordes simples, ou *haussières*, se nomment *bitors*, quand il y a deux fils de caret; *merlins*, quand il y a trois fils.

Il faut au moins deux fils pour une corde, parce qu'un seul fil se détortille.

On appelle *commettre une corde*, l'action de réunir les fils de caret pour qu'elle ne se détorde pas.

Pour réunir deux, trois fils, on les met ensemble sur le tour, d'un côté, et séparés de l'autre. On marche en mettant entre eux l'instrument représenté *Pl.* X, *fig.* 5, 6 et 7, et tournant vite.

Quand on a de grosses cordes à faire, on forme des cordes simples au moyen de fils de caret; ces cordes simples portent alors le nom de *torons*. On fait ensuite la grosse corde au moyen de ces torons, comme on a fait les torons au moyen des fils de caret.

Le degré de tortillement des cordes dépend de l'habileté de l'ouvrier.

Les haussières subissent alors un raccourcissement égal au tiers ou au quart de la longueur du fil de caret.

La force d'une corde n'est pas égale à la somme des forces des fils de caret qui la composent.

Il ne faut pas mettre plus de quatre ou six torons, au *maximum*, pour faire une corde. Pour faire du grelin, on prend des

haussières comme tortillons et on les commet ensemble. On les nomme alors *cordons*.

On appelle *cabler*, commettre des haussières ensemble. Les grelins sont toujours plus serrés que les haussières et se séparent mieux.

On emploie aussi les *cordages noirs* ou *goudronnés*.

Il y a deux manières de goudronner la corde :

1° En fils.

Pour cela, on emploie l'appareil représenté figure 8, *Pl.* X.

2° Par immersion.

Pour cela, on met la corde dans un chaudron avec du goudron.

Les cordages goudronnés sont moins résistants que les blancs.

On a essayé de tanner les cordes.

§ 2. — CUIRS.

Ils s'emploient dans les machines comme cordes, obturateurs, etc.

On emploie les cuirs tannés, lesquels se distinguent en :

Cuirs tannés à fond,

Cuirs tannés à la surface.

De plus : cuirs forts et cuirs mous.

Les cuirs forts sont épais, durs, et résistent au frottement.

Les cuirs mous sont souples.

Dans les cuirs souples on distingue :

Cuirs gras ; cuirs non gras ; cuirs hongroyés.

La préparation du cuir a pour but de séparer le tissu fibreux des matières putrescibles et du poil, dans certains cas. De plus, comme il ne reste qu'un tissu spongieux, il faut le consolider et remplir ses vides, en introduisant des matières qui servent encore à la conservation des fibres. C'est l'art du tannage.

Le cuir fort se fait avec la peau des grands quadrupèdes. On commence par dégraisser les peaux ; pour cela, on les pénètre d'eau qui les ramollit, entraîne la graisse et la gélatine, et fait tomber le poil facilement.

Quand la peau est convenablement préparée, on la met dans des fosses. Chaque peau est entre deux couches de tan. On emplit ensuite la fosse d'eau. La présence de l'eau forme de l'acide tannique qui pénètre dans la peau, précipite la géla-

tine restante, et forme ainsi un précipité insoluble, qui reste dans les pores de la peau.

Si l'opération se fait sur tout le cuir, il est tanné à fond. Pour cela, il faut que le cuir reste en fosse pendant trois ans. Le cuir bien tanné se conserve longtemps et se trouve préservé de l'humidité. Il augmente de poids en absorbant l'humidité de l'air.

Le cuir fort, coupé dans tous les sens, doit toujours présenter le même aspect.

Pour connaître, à la coupe, si le cuir a été bien apprêté, il faut que la peau soit luisante, le nerf serré, et la texture semblable à celle d'une noix de muscade; de plus, la coupe doit être faite sur le dos.

Le cuir dont la coupe est terne, jaunâtre ou noirâtre, qui a le nerf ouvert ou spongieux, et une raie noire au milieu, a été mal apprêté.

Les cuirs dont la coupe présente l'aspect de la corne, qui sont secs et résonnent par le choc, ceux-là n'ont pas assez de tan.

Il faut que les cuirs aient une épaisseur uniforme.

Les cuirs de taureaux sont très-variables; la peau est très-mince aux flancs et très-épaisse aux reins. Les cuirs de bœufs ne présentent pas la même irrégularité. La partie de la peau à l'épine du dos est la meilleure pour les courroies.

Cuirs minces.

Après les avoir tannés, on les pénètre de graisse quand on veut en faire des cuirs gras.

Si on veut en faire des cuirs hongroyés, on les passe à la chaux, puis on les saupoudre d'alun qui resserre les pores de la peau, ce qui évite de remplir d'une autre substance.

On emploie le cuir pour servir de support à des tourillons non trop chargés. On en fait des charnières, des pièces destinées à arrêter les chocs, etc.; ou en fait des cylindres dans les filatures.

§ 3. — HUILES.

On fait usage des huiles grasses qui adoucissent les frottements. Les plus convenables sont les huiles ni volatiles, ni siccatives.

On a employé avec avantage la stéarine pulvérulente. Elle est convenable pour les axes très-chargés et tournant avec une grande vitesse.

Les huiles employées sont ou animales, ou végétales.

Les huiles animales, parvenues au plus haut point de rancidité, sont sans action sur les métaux.

L'huile de pied de bœuf est la meilleure.

Pour les pièces délicates, on doit préférer les huiles végétales qui s'altèrent moins. L'huile d'olive est la meilleure.

Pour l'horlogerie, on préfère l'huile d'amande épurée et l'huile de *ben*.

Les huiles de crucifères ne sont pas assez grasses, et sont d'un mauvais emploi dans les machines. D'ailleurs, elles contiennent de l'acide sulfurique.

Les huiles sont employées dans les obturateurs.

§ 4. — SAVONS.

Ils s'emploient pour diminuer le frottement. Ils sont meilleurs que les huiles quand il s'agit de bois. Dans les grands engrenages, on emploie avec avantage le savon noir. Dans certains cas, on le mélange avec de la plombagine réduite en poudre impalpable.

§ 5. — GRAISSES.

Elles ne diffèrent des huiles que par leur consistance. Elles peuvent être souvent un obstacle au mouvement. On emploie le *suif* avec avantage dans les machines à vapeur, parce qu'il y fait chaud, ce qui le maintient en fusion. Dans une machine soufflante, on emploie du *saindoux*.

La plombagine, ou percarbure de fer, s'emploie mélangée avec d'autres substances.

On emploie aussi des bitumes. Ils ne peuvent être employés seuls qu'à l'état liquide. Mélangés avec une graisse, ils forment un très-bon enduit pour les roues de voitures.

On se sert aussi d'enduits pour préserver les machines de l'action de l'air.

On emploie de la plombagine, on la mélange avec de l'eau gommée ou de la bière, et on l'applique avec une brosse. Cet enduit est de peu de durée. On se sert aussi de poix noire pour les gros ouvrages. Elle n'est bonne que dans l'intérieur des bâtiments. On se sert aussi de corne qui brûle sur la pièce.

La meilleure chose à employer est la *pièce grasse*.

Pour la préparer, on fait fondre ensemble :

4 suif,
1 huile d'olive.

On mélange bien, et en imprègne un chiffon que l'on frotte partout.

ARTICLE IV.

SCELLEMENTS.

On se sert de : *Plomb*,
Soufre,
Plâtre.

Pour se servir de plomb :

On fait un bourrelet *ab* (*Pl.* X, *fig.* 9) en terre autour du trou, et on verse le plomb très-doucement. Le refroidissement, le contractant, fait affaisser.

Pour le soufre on fait de même; ce dernier gonfle en se refroidissant, à cause de la cristallisation.

Le plomb résiste aux chocs, le soufre n'y résiste pas.

Le scellement au plâtre ne doit pas s'employer dans les terrains humides ni pour résister. Il gonfle comme le soufre.

On a souvent à joindre des pièces de fonte entre elles; ce sont des joints destinés à empêcher le passage de fluides. On en fait souvent soit dans les machines que l'on construit, soit dans les machines que l'on entretient. On se sert de la soudure des plombiers, de soufre, mastic, chanvre, cuir, carton, plomb, flanelle, etc. Le mastic dont on fait usage est le *mastic de fonte* ou d'*acum*. C'est un mélange de limaille de fonte, d'hydrochlorate d'ammoniac et de fleur de soufre.

En poids :	*Limaille.*	20
	Fleur de soufre.	1
	Sel ammoniaque.	2

On mélange à sec fleur de soufre et limaille de fonte, et on conserve ainsi. Quand on veut s'en servir, on en fait une pâte avec hydrochlorate d'ammoniac liquide. A la longue, il se forme du sulfure de fer que l'on ne peut détruire. On emploie ce mastic à la fermeture des tuyaux de conduite, dans les machines à vapeur, etc.

Il est des joints que l'on fait avec le mastic rouge. Ce dernier ne doit pas contracter d'adhérence avec les surfaces, mais se mouler dessus. Il faut qu'il soit mou quand on l'applique, et durcisse promptement sans changer de volume.

On a choisi pour cela des oxides de plomb.

On met parties égales de céruse et de minium, et on délaie le tout dans de l'huile de lin.

Il est meilleur de faire délayer, par un peintre, de la céruse, et d'ajouter ensuite du minium.

Il y a deux manières d'assembler les tuyaux :

1° A brides avec boulons;
2° A emboîtement.

1° *A brides.*

Il faut au moins trois boulons (*Pl.* X, *fig.* 10 et 11).

L'une des brides est percée de trous quarrés, et l'autre de trous ronds. Le boulon a, en conséquence, une partie quarrée et une partie ronde. On peut encore faire en sorte que la tête du boulon s'appuie sur le tuyau, de manière à pouvoir visser l'écrou sans que le boulon tourne.

On fait un congé (*Pl.* X, *fig.* 11) à la bride pour la consolider. On ne la fait pas trop longue non plus; en général, $ab = bc$.

Quand la bride est nécessairement saillante, on fait des consoles (*Pl.* X, *fig.* 12).

Les matières que l'on peut employer pour mettre entre les joints sont :

Le cuivre, le plomb et le mastic de fonte.

On a soin de ne pas mettre le plomb jusqu'au bord du tuyau intérieurement, parce qu'il s'étalerait et boucherait ainsi une partie de l'ouverture du tuyau.

Il faut passer tous les boulons et les serrer ensemble. M. Girard a lié les tuyaux de Paris avec une demi-bride de plomb entre deux flanelles goudronnées. On emploie du cuir gras, du carton, etc.

Pour cela, on fait frire le carton dans de l'huile de poisson jusqu'à ce que l'huile ait pénétré à fond. Avant de poser le carton, on le barbouille avec de la céruse délayée dans de l'huile de lin.

Pour faire un joint en mastic de fonte, on place les boulons, on introduit ensuite le mastic dans le joint, puis on serre les boulons.

2° *A emboîtement.*

On emplit l'espace annulaire (*Pl.* X, *fig.* 13) entre les deux tuyaux soit avec de la filasse goudronnée et du plomb, soit avec du mastic de fonte, qui, dans ce cas, peut nuire, car une fois qu'il y est, il faut briser les tuyaux pour l'ôter.

A Grenoble, on a fait des joints avec des torons goudronnés et dessus du plomb coulé ; ces joints-là coûtent cher. Cependant, c'est encore plus économique que le joint par boulons.

Un inconvénient des tuyaux à emboîtement, c'est que quand on en veut enlever un, on ne peut le faire sans déranger toute la conduite.

Un de leurs avantages, c'est de détruire les effets de la dilatation et de la contraction.

Dans les conduites à emboîtement, on met des tuyaux à brides tous les 50 mètres (25 toises et demie), ce qui permet de ne déranger la conduite, pour réparer, que jusqu'au tuyau à bride le plus voisin.

Quand on fait des tuyaux de plomb, on les soude à la soudure des plombiers ; on a soin de bien dresser les joints ; on fait un bourrelet sur le joint (*Pl.* X, *fig.* 14) ; la largeur de la soudure est deux fois le diamètre du tuyau.

Si on veut unir à brides, on rabat les bords du tuyau sur deux brides en fer rapportées (*Pl.* X, *fig.* 15 et 16).

CHAPITRE II.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION DES MACHINES.

ARTICLE Ier.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX RIGIDES.

Ils ont quatre espèces d'efforts à vaincre :

1° *Effort de traction, dans le sens de la longueur ;*
2° *Effort de flexion, perpendiculaire à la longueur ;*
3° *Effort de torsion, autour de l'axe ;*
4° *Effort d'écrasement, dans le sens de la longueur.*

§ 1er. — EFFORT DE TRACTION.

La force de rupture, dans la traction, est proportionnelle à la section de la pièce. La pièce peut être considérée comme suspendue en l'air, et portant à son extrémité inférieure un poids (*Pl.* X, *fig.* 17).

Si F est la force qui amène la rupture pour l'unité de section, S la section, F S sera la force de rupture.

Tableau représentant les poids qui ont produit la rupture.

Bois étirés dans le sens de leurs fibres.		Par centimètre quarré.
Pour	Buis. . . . . F =	1400 kilog.
	Sapin	840
	Hêtre	800
	Chêne ordinaire. . . .	780
	Poirier.	690
	Acajou.	560

Ces poids étant ceux qui amènent la rupture, en pratique on ne fait *supporter aux bois que la moitié et même le tiers de ces poids.*

Bois étirés perpendiculairement à leurs fibres.		Par centimètre quarré.
Pour	Chêne. . . . . F =	162 kilog.
	Peuplier.	125
	Pin.	94
	Sapin.	42

Fer.	Par centimètre quarré. *minimum.* kilog.	*moyen.* kilog.	*maximum.* kilog.
Pour Fer forgé. . . . . . F =	3200	4300	5400
Tôle dans le sens du laminage.	3800	4080	4300
Tôle perpendiculairement au laminage.	3350	3645	3940
Fil de fer non recuit de 0.m005 à 0.m0013 de diamètre.	6000	6240	6480
Fil de fer non recuit de 0.m001 et au-dessous. .	7000	7700	8400
Fil de fer recuit de 0.m001 à 0.m0015	3600	3700	3800
Fer corroyé au marteau. .	5500	5750	6000

Les fers commencent à s'allonger sensiblement avec des poids égaux à la moitié de ceux qui produisent la rupture.

Le plus mauvais fer est celui qui s'allonge le moins sans prendre d'extension.

Quand on emploie du fer forgé pour résister dans le sens de la traction, on ne lui fait pas *supporter plus du tiers du poids qui occasionne la rupture.*

Le recuit, en rendant les fers plus doux et plus flexibles, leur enlève les deux cinquièmes de leur résistance.

La résistance des fers est d'autant plus considérable qu'ils sont de plus petites dimensions.

La force des fils de fer n'est pas altérée lorsqu'on les plie sur un cylindre d'au moins 4 centimètres (1 pouce 6 lignes) de diamètre.

Résistance de divers métaux à la traction.

		Par centimètre quarré.
Pour	Fonte de fer grise. . . .	F = 1420 kilog.
	Fonte de fer blanche. . .	1310
	Acier cémenté non affiné. .	2790
	Acier fondu coulé en barres.	4400
	Acier fondu corroyé. . . .	9440
	Acier cémenté affiné. . . .	9160
	Métal de canons.	2550
	Cuivre rouge fondu. . . .	1341
	Cuivre jaune fondu. . . .	1263
	Cuivre rouge laminé. . .	2100
	Cuivre rouge battu. . . .	2480
	Etain fondu.	333
	Plomb fondu.	128
	Plomb laminé.	140
	Fil de laiton mou de moins de 0.m001 de diamètre. .	8520
	Fil de laiton dur et cassant de 0.m002 de diamètre. . .	4140
	Fil de laiton doux, même diamètre.	6610

Le fil de laiton recuit perd à peu près moitié de sa ténacité.

Le cuivre battu et laminé et le plomb laminé commencent à s'étendre sous des charges un peu plus fortes que la moitié de celles qui causent leur rupture.

On ne leur fait supporter à tous que le tiers de la charge de rupture.

On a trouvé :

1° La résistance à la rupture est indépendante de la longueur.

2° Elle paraît être indépendante de la forme de la section.

3° Cette résistance est celle de la plus petite section des matériaux que l'on emploie, à moins qu'ils aient des défauts.

4° L'allongement est à peu près proportionnel à la charge et à la longueur de la pièce.

§ 2. — EFFORT DE FLEXION.

1° *Détermination de la puissance* F *au point de rupture, en fonction de la puissance* P *et de la longueur* l.

Premier cas.

Une barre est encastrée par un bout dans un mur et supporte, à l'autre extrémité, un poids P (*Pl.* X, *fig.* 18).

Soit F la résistance en A, c'est-à-dire l'adhérence des molécules au point A :

$$F = P\,l$$

Si le poids est uniformément réparti, alors P résultante est au milieu de la barre, et on a :

$$F = {}^1/_2\,P\,l$$

Si on a égard au poids de la pièce, P étant à l'extrémité :

$$F = P\,l + {}^1/_2\,p\,l$$

p étant le poids de la pièce.

Si P est uniformément réparti, ayant égard au poids de la pièce, on a :

$$F = {}^1/_2\,(P + p)\,l$$

Il faut supposer alors que le centre de gravité est au milieu.

Deuxième cas.

Pièce supportée sur deux points (*Pl.* X, *fig.* 19).

$$l = m + n.$$

Remplaçons les deux points d'appui A et B par deux forces p, p' dont P soit la résultante :

on aura : $p = \dfrac{P\,n}{l}$ $\quad p' = \dfrac{P\,m}{l}$

alors on est ramené au premier cas.

On a une barre encastrée en c pour chaque force p et p'.

alors : $F = p\,m = \dfrac{P\,m\,n}{l}$

$$F = p'n = \frac{P\,m\,n}{l}$$

Au point c, les efforts pour casser la barre sont égaux.

Si le poids est uniformément réparti, alors P est au milieu : $m = n$, $l = 2m$, et on a :

$$F = \frac{Pl}{4}$$

Si on a égard au poids de la pièce, m et n étant inégaux :

$$F = \frac{Pmn}{l} + \frac{pl}{4}$$

Si $m = n$, ayant égard au poids de la pièce, on a :

$$F = \frac{P + p}{4}\, l$$

Troisième cas.

On suppose deux forces et un point fixe entre elles (*Pl.* X, *fig* 20); alors P doit être remplacé, dans le cas précédent, par $p + p'$, car c'est la même chose.

Quatrième cas.

Pièce encastrée par les deux bouts (*Pl.* X, *fig.* 21).

Le calcul indique que, dans ce cas, la résistance est double de ce qu'elle serait dans le deuxième cas.

Donc : $$F = \frac{2\,Pmn}{l}$$

Si P est au milieu : $$F = \frac{Pl}{2}$$

Si on a égard au poids de la pièce dans les deux cas :

1° . . . $$F = \frac{2\,Pmn}{l} + \frac{pl}{2}$$

2° . . . $$F = \frac{P + p}{2}\, l$$

2° *Détermination de la résistance au point de rupture* F', *en fonction de la section et de la nature de la pièce essayée.*

On a trouvé par le calcul :

Soit R un certain nombre de kilogrammes dépendant de la

nature de la pièce essayée par centimètre quarré de section, et pour la rupture :

1° Section rectangulaire (*Pl.* X, *fig.* 22) $F' = \frac{R a b^2}{6}$

$b > a$

2° *id.* quarrée (*fig.* 27) . . . . $F' = \frac{R q^3}{6}$

q étant le côté du quarré ;

3° *id.* (*fig.* 23) . . . . $F' = \frac{R q^3}{6\sqrt{2}}$

4° *id.* circulaire pleine (*fig.* 38) . $F' = \frac{R \pi r^3}{4}$

5° *id.* annulaire (*fig.* 24) . $F' = \frac{\pi R \left(r'^4 - r''^4\right)}{4 r'}$

r' rayon extérieur ;
r'' rayon intérieur ;

6° *id.* (*fig.* 25 ou *fig.* 26) . $F' = \frac{R\left(a b^3 - a' b'^3\right)}{6 b}$

Connaissant les différentes valeurs de la puissance F, au point de rupture, suivant la position de la pièce ;

Connaissant les différentes valeurs de la résistance F', au point de rupture, suivant les différentes formes de la pièce,

L'état intermédiaire de la pièce, entre, avant et après la rupture, est : $F = F'$.

On a donc les formules :

1° Pour les quatre positions de la pièce :

1er *cas.* Une des quatre conditions : Une des six valeurs :

$$\left(\begin{array}{l} P\,l \ldots\ldots \\ \frac{1}{2} P\,l \ldots\ldots \\ (P + \frac{1}{2} p)\, l \\ \frac{1}{2}(P + p)\, l \end{array}\right) = \left(\begin{array}{ll} \frac{R a b^2}{6}, & \frac{R \pi r^3}{4} \\ \frac{R q^3}{6}, & \frac{R \pi (r'^4 - r''^4)}{4 r'} \\ \frac{R q^3}{6\sqrt{2}}, & \frac{R (a b^3 - a' b'^3)}{6 b} \end{array}\right)$$

Suivant la forme de la section :

2e *cas.* Une des quatre conditions :

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Pmn}{l} \ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{Pl}{4} \ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{Pmn}{l}+\dfrac{pl}{4} \ldots \\ \dfrac{P+p}{4}\,l \ldots\ldots \end{array}\right\} = \text{une des six valeurs écrites ci-dessus.}$$

Suivant la forme de la section :

3e *cas.* Une des quatre conditions :

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{(p'+p'')\,mn}{l} \ldots \\ \dfrac{2\,p'\,l}{4} \ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{(p'+p'')\,mn}{l}+\dfrac{pl}{4} \\ \dfrac{2\,p'+p}{4}\,l \ldots\ldots \end{array}\right\} = \text{une des six valeurs écrites ci-dessus.}$$

Suivant la forme de la section :

4e *cas.* Une des quatre conditions :

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{2\,Pmn}{l} \ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{Pl}{2} \ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{2\,Pmn}{l}+\dfrac{pl}{2} \ldots \\ \dfrac{P+p}{2}\,l \ldots\ldots \end{array}\right\} = \text{une des six valeurs écrites ci-dessus.}$$

Rapports entre les résistances des pièces d'égales sections.

1° Rectangle et quarré (*Pl.* X, *fig.* 22 et 38).

Rectangle $F' = \dfrac{R a b^2}{6}$

Quarré $F'' = \dfrac{R q^3}{6}$

$F' : F'' :: a b^2 : q^3$ $\left(\dfrac{R}{6}\right.$ étant facteur commun$\left.\right)$

Surfaces égales : $a b = q^2$. . . . . (1)

De (1) on tire : $q = \sqrt{ab}$ $\quad q^3 = ab\sqrt{ab}$

$F' : F'' :: ab \times b : ab\sqrt{ab} :: b : \sqrt{ab}$
$:: b : q$

La résistance de la pièce rectangulaire est à celle de la pièce quarrée $:: b : q$.

Or, b étant $> a$, est $> q$

Donc, un rectangle dans la position *fig.* 22 résiste mieux qu'un quarré dans la position *fig.* 38.

2° Quarré et quarré (*Pl.* X, *fig.* 27 et 23).

Quarré. 1° $F' = \dfrac{R q^3}{6}$

Quarré 2° $F'' = \dfrac{R q^3}{6\sqrt{2}}$

ici F′ est évidemment $> F''$

donc le quarré (*fig.* 27) résiste mieux que le quarré (*fig.* 23).

3° Circulaire annulaire et circulaire plein (*Pl.* X, *fig.* 24 et 38).

Circulaire annulaire 1° $F' = \dfrac{R\pi(r'^4 - r''^4)}{4 r'}$

Circulaire plein 2° $F'' = \dfrac{R\pi r^3}{4}$

$F' : F'' :: \dfrac{r'^4 - r''^4}{r'} : r^3$

Surfaces égales : $\pi(r'^2 - r''^2) = \pi r^2$. . . . (1)

De (1) on tire $r^2 = r'^2 - r''^2$

$$r = \sqrt{r'^2 - r''^2}$$

$$r^3 = (r'^2 - r''^2)\sqrt{r'^2 - r''^2}$$

donc :

$$F' : F'' :: \frac{r'^4 - r''^4}{r'} : (r'^2 - r''^2)\sqrt{r'^2 - r''^2}$$

$$:: \frac{r'^2 + r''^2}{r'} : \sqrt{r'^2 - r''^2}$$

$$:: r'^2 + r''^2 : r' r$$

r est $< r' r$ donc $r r'$ est $< r'^2$, et par conséquent $< r'^2 + r''^2$

Donc la pièce annulaire résiste mieux que la pièce circulaire pleine.

4° Rectangle et anneau (*Pl.* X, *fig.* 22 et 24).

Rectangle $F' = \dfrac{R a b^2}{6}$

Anneau $F'' = \dfrac{R \pi (r'^4 - r''^4)}{4 r'}$

$$F' : F'' :: \frac{a b^2}{3} : \frac{\pi (r'^4 - r''^4)}{2 r'}$$

Surfaces égales : $ab = \pi (r'^2 - r''^2)$. . . . (1)

De (1) on tire :

$$r'^2 - r''^2 = \frac{ab}{\pi}$$

$$r'^4 - r''^4 = \frac{ab(r'^2 + r''^2)}{\pi}$$

d'où :

$$F' : F'' :: \frac{ab^2}{3} : \frac{ab(r'^2 + r''^2)}{2 r'} :: \frac{b}{3} : \frac{r'^2 + r''^2}{2 r'}$$

La question reste indéterminée sans chiffres; il en est de même pour le quarré.

5° Rectangles (*Pl.* X, *fig.* 22 et 25 ou 26).

Rectangle plein $F' = \dfrac{R a b^2}{6}$

Rectangle vide $F'' = \dfrac{R\,(a'b'^3 - a''b''^3)}{6\,b'}$

$$F' : F'' :: ab^2 : \frac{a'b'^3 - a''b''^3}{b'}$$

Surfaces égales : $ab = a'b' - a''b''$ . . . . . (1)

De (1) on tire :

$$ab^2 = b\,(a'b' - a''b'')$$

$$F' : F'' :: bb'\,(a'b' - a''b'') : a'b'^3 - a''b''^3$$

le problème reste encore indéterminé.

(Voir les résultats pour $\begin{cases} b = ma \\ r' = nr'' \\ a = m'r' \end{cases}$ dans le quatrième cas, et $\begin{cases} b = ma \\ b' = m'a' \\ b'' = m''a'' \\ b = nb' = n'b'' \end{cases}$ dans le cinquième cas.)

Rapports entre les sections des pièces d'égales résistances.

1° Rectangle et quarré.

Rectangle $= ab$
Quarré $= q^2$

Pour résistances égales : $\dfrac{R a b^2}{6} = \dfrac{R q^3}{6}$

d'où : $ab^2 = q^3$

$$q = \sqrt[3]{ab^2}$$

$$q^2 = \sqrt[3]{a^2 b^4}$$

$$S : S' :: ab : q^2 :: ab : \sqrt[3]{a^2 b^4}$$
$$:: a^3b^3 : a^2 b^4$$
$$:: a\,b : b^2$$

Or, a est plus petit que b, donc le rectangle résiste mieux que le quarré.

Les surfaces sont d'autant plus petites que les résistances sont plus grandes.

Il est donc inutile d'examiner les autres cas.

Pour appliquer ces formules, il faut prendre le *centimètre* pour unité, puisque R est pour un centimètre quarré de section, et faire P égal à cinq fois le poids que doit réellement supporter la pièce.

On a trouvé :

Pour Chêne	R = 690 kil.
Sapin	R = 610
Fonte de fer	R = 2800
Fer	R = 6000

Exemple.

On a une pièce de *fonte, rectangulaire*, portée par ses *extrémités*, et chargée en son *milieu* de 5000 kil.; sa longueur est 6 mètres, son épaisseur a est 0.m10, on demande sa hauteur b.

On a :

$$R = 2800$$
$$P = 25000$$
$$l = 600$$
$$a = 10$$
$$p = x$$
$$b = y$$

On a, en outre :

$$\frac{(P+p)\,l}{4} = \frac{R\,a\,b^2}{6}$$

Un mètre cube de fonte pèse 7200 kil.

Le poids de la pièce est :

$$p = 10 \times b \times 600 \times 0.0072 \text{ kil.}$$

0.0072 étant le poids de 1 centimètre cube de fonte, on a :

$$(25000 + 10 \times 600 \times 0.0072 \times b)\,600 \times 3 = 2 \times 2800 \times 10 \times b^2$$

équation du deuxième degré en b, d'où on tire sa valeur en *centimètres*.

Ce seul exemple suffit.

Telles sont les formules relatives au point où la rupture doit s'opérer, si la pièce est bien homogène, et si les autres sections de la pièce sont susceptibles de résister avant la rupture de la section en ce point.

Maintenant nous allons vérifier s'il est nécessaire que les autres sections de la pièce aient les mêmes dimensions que la section où la rupture a lieu.

Solide d'égales résistances (Pl. X, fig. 28).

$$a \ \mathrm{A} = l$$
$$a' \ \mathrm{A} = l'$$
$$a'' \mathrm{A} = l''$$
etc.

Les effets F, F'.... de la puissance P sur les différentes sections ab, $a'b'$, $a''b''$, etc., sont :

$$\mathrm{P}\,l,\ \mathrm{P}\,l',\ \mathrm{P}\,l'',\ \text{etc.}$$

c'est-à-dire diminuent avec la longueur.

Les effets de la puissance étant proportionnels à la longueur, les résistances F', que l'on prend égales aux F de la puissance, sont proportionnelles à la longueur l. Mais la résistance dépend de la grandeur de la section ; elle lui est donc proportionnelle, donc la section est proportionnelle à la longueur.

Pour le solide rectangulaire A B $a\,b$:

$$\mathrm{P}\,l = \frac{\mathrm{R}\,a\,b^2}{6}$$

Pour A B $a'b'$: $\mathrm{P}l' = \dfrac{\mathrm{R}\,a\,b'^2}{6}$; R, a et P restant les mêmes.

$$b^2 = \frac{6\,\mathrm{P}\,l}{\mathrm{R}a} \qquad b'^2 = \frac{6\,\mathrm{P}\,l'}{\mathrm{R}a}$$

$$b^2 : b'^2 :: l : l'$$

d'où :

$$b'^2 = \frac{b^2}{l}\,l'$$

On connaît b, l, l', on détermine b'.

Pour $a'' b''$, on a :

$$b''^2 = \frac{b^2}{l} l''$$

Ainsi, en représentant b' par y, l', l'', etc., par x, et $\frac{b^2}{l}$ par $2p$, on a :

$$y^2 = 2px$$

équation d'une parabole rapportée à son sommet.

$\frac{b^2}{l}$ est toujours connu, car l est connu, ainsi que b et a, par les formules de la résistance des matériaux.

On fait varier l ou x, et on a les différentes valeurs correspondantes de b ou y.

On obtient les figures 29 et 30.

Si la pièce est supportée par ses deux extrémités, on a la figure 31.

En A est la rencontre des deux courbes pour $y = b$. La surface de la parabole étant les $^2/_3$ du rectangle, il y a $^1/_3$ de poids de moins.

On calcule b pour un poids cinq fois plus fort, dans le cas ordinaire, et dix fois dans les chances de chocs, et on construit sa parabole.

Comme d'après la formule $y^2 = 2px$, la section de la pièce aux points d'appui, dans le deuxième cas, ou de l'application de P dans le premier, est nulle, il a fallu avoir recours à l'expérience pour déterminer cette section.

Les travaux ont été faits pour les tourillons des arbres.

Diamètres des tourillons.

On a trouvé :

Si Q est le nombre de quintaux métriques que supporte un arbre en son milieu, cet arbre étant en fonte, et d le diamètre du tourillon, les tourillons se trouvant également chargés :

Fonte : $d = 3{,}2\ Q^{1/3}$

Si l'arbre est en fer, sa résistance est à celle de la fonte comme 14 : 9, d'où :

Fer : $d = 3{,}2\ (^9/_{14}\ Q)^{1/3}$

car c'est comme si c'était un arbre en fonte qui n'aurait à supporter que les neuf quatorzièmes du poids Q.

En pratique on donne au tourillon $\frac{1}{8}$ en sus de la valeur trouvée par le calcul.

Ici Q n'est pas le quintuple de la charge à supporter, c'est la véritable charge :

d'où : $D = d + \frac{1}{8} d.$

Ayant déterminé le diamètre des tourillons, quand l'arbre est pressé en son milieu, nous allons le déterminer pour le cas où l'arbre est pressé en un point quelconque (*Pl.* X, *fig.* 19).

$$p = \frac{Pn}{l}$$

$$q = \frac{Pm}{l}$$

quand $m = n$ $p = p' = \frac{1}{2} P.$

Pour le tourillon, c'est le poids p qui agit ; comme dans la formule, on met deux fois le poids qui agit sur lui, puisqu'on met Q, lequel est $2p$ pour $m = n$; on met de même $2p$ dans la formule pour le tourillon en p, et $2p'$ pour le tourillon en p'.

p et p' sont déterminés par $\begin{cases} p = \dfrac{Pn}{l} \\ p' = \dfrac{Pm}{l} \end{cases}$

et on a : $\left.\begin{array}{l} p \ldots\ldots d = 3{,}2\,(2\,p)^{1/3} \\ p' \ldots\ldots d = 3{,}2\,(2\,p')^{1/3} \end{array}\right\}$ pour fonte.

et : $\left.\begin{array}{l} p \ldots\ldots d = 3{,}2\,(\frac{9}{7}\,p)^{1/3} \\ p' \ldots\ldots d' = 3{,}2\,(\frac{9}{7}\,p')^{1/3} \end{array}\right\}$ pour fer.

et on ajoute $\frac{1}{8}$ en sus.

Ces résultats sont bons pour des charges moyennes.

Si le poids Q augmente, la valeur de d est trop forte, alors on ajoute moins de $\frac{1}{8}$ en sus.

Si le poids Q diminue, c'est le contraire. (Bien remarquer que Q est exprimé en quintaux métriques.)

La longueur des tourillons doit être :

Pour fonte : $l = 1,2$ D } le D pratique.
fer : $l = 1,5$ D }

§ 3. — EFFORT DE TORSION.

Soit un arbre (*Pl.* X, *fig.* 33) encastré par un bout, et un bras de levier ab partant du centre.

Soit P une force appliquée en b perpendiculairement à $a\,b$.

Si la force P est trop puissante, le point b décrit un cercle, et chaque génératrice $a\,c$ de la surface décrit une hélice; de même pour les génératrices des couches inférieures à la surface, jusqu'à l'axe. Il y a donc une génératrice $n\,y$ qui décrit une hélice moyenne entre toutes les autres, ou plutôt un point x dont la course est moyenne.

On a trouvé que :

1° *L'effort pour opérer la torsion est proportionnel à l'angle de torsion;*

2° *L'angle de torsion est proportionnel au diamètre;*

3° *La résistance à la torsion est proportionnelle au cube du diamètre de la section.*

Si A est la quantité d'action transmise par P par seconde, n le nombre de tours par seconde; $\frac{A}{n}$ est la quantité d'action transmise par tour par P. C'est l'effort de torsion. Il doit être proportionnel à la résitance ou au cube du diamètre.

D'où : $$D^3 : D'^3 :: \frac{A}{n} : \frac{A'}{n'}$$

d'où : $$D^3 = \frac{D'^3 \frac{A}{n}}{\frac{A'}{n'}} = \frac{D'^3 n'}{A'} \cdot \frac{A}{n}$$

Si on connaît par expérience D', A', n' pour un arbre, et A, n pour un autre, on aura D.

Or, l'arbre en fonte du volant d'une machine de 50 chevaux faisant 50 tours par minute, doit avoir 7 pouces 1/2 anglais de diamètre au tourillon.

d'où : $D' = 7^p,5 \times 2.54 = 0.^m1905$

$n' = \ldots\ldots\ 50$

$A' = 50$ chevaux $= 150000$ kil. m.

d'où : $$\frac{D'^3 n'}{A'} = 2,3$$

d'où : $$D^3 = 2,3\ \frac{A}{n}$$

A s'exprime en kilogrammètres, comme on le voit à A'; c'est la quantité d'action qui s'opère au tour de l'arbre ; n le nombre de tours.

Pour fonte on a : $$D^3 = 2,3\ \frac{A}{n}$$

Pour fer. . . . . $$D'^3 = 2,3\ \frac{9}{14}\ \frac{A}{n}.$$

La résistance à la torsion est indépendante de la longueur. Seulement l'angle de torsion est proportionnel à cette longueur.

Par ces formules, le tourillon n'est pas même soumis à une torsion élastique.

Dimensions pratiques du corps de l'arbre.

Lorsque sa longueur n'excède pas douze fois le diamètre du tourillon, il suffit de lui donner la forme octogonale circonscrite au cercle du tourillon, en donnant cependant au point de rupture la dimension calculée.

On fait en général le cercle inscrit dans l'octogone avec un diamètre $= \frac{11}{10}$ du diamètre des tourillons. L'arbre a une courbure parabolique.

Quand un arbre est soumis à la pression et à la torsion, on cherche les dimensions du tourillon par les deux formules de pression et torsion; on fait usage de celle qui donne la plus grande valeur pour D, diamètre des tourillons.

§ 4. — EFFORT D'ÉCRASEMENT.

Il se produit deux effets : écrasement et flexion. Les expériences n'ont été faites que pour le chêne, le fer et la fonte.

1° *Chêne.*

La force nécessaire pour écraser un cube de bois de chêne est de 40 à 48 livres par ligne quarrée, c'est-à-dire, 385 à 462 kilogr. par centimètre quarré de base.

La résistance ne diminue pas sensiblement jusqu'à une hauteur égale à 8 fois le côté du cube.

Pour une hauteur égale à 10 fois ce côté, il y a flexion.

2° *Fer.*

La force nécessaire pour écraser un cube de fer est de 513 livres par ligne quarrée, ou 4945 kilogr. par centimètre quarré de base. Quand la hauteur est plus du triple du côté du cube, le fer se rompt.

3° *Fonte.*

Il faut 10000 kilogram. (20000 livres) par centimètre quarré (19 lignes) de base. La résistance reste la même pour une hauteur égale à huit ou dix fois l'épaisseur. Au-delà, les pièces plient.

Ces nombres étant les nombres limites, en pratique on ne charge le chêne que de 1/5 du poids indiqué ;

Le fer de $^1/_4$.
La fonte de $^1/_4$.

Il faut aussi rester dans les limites de hauteur indiquées.

TABLEAU RELATIF AUX LONGUEURS.

Chêne.

Soit l le côté du cube; pour une hauteur égale à :

l, la charge d'écrasement est .	1
$12\,l$	$^5/_6$
$24\,l$	$^1/_2$
$36\,l$	$^1/_3$
$48\,l$	$^1/_6$
$60\,l$	$^1/_{12}$
$72\,l$	$^1/_{24}$

La théorie donne pour une substance quelconque (*Pl.* X, *fig.* 34), b étant plus grand que a :

Rectangle . . . . . . résistance $= \frac{b a^3}{l^2} k$

k dépend de la substance.

Quarré . . . . résistance $= \frac{q^4}{l^2} k$

Cercle . . . . résistance $= \frac{D^4}{l^2} k$

Tredgoold a trouvé en pratique, pour fer et fonte, la formule empyrique :

P = poids maximum sans flexion ni altération.

Fer et fonte. . . . $P = \frac{m^3 a b}{n a^2 + k l^2}$

Fonte cylindrique $P = \frac{9652\ D^4}{4 D^2 + 0.18\ l^2}$

le tout exprimé en mesures anglaises.

Fer cylindrique $P = \frac{11125\ D^4}{4\ D^2 + 0.16\ l^2}$

Si la pièce devient rectangulaire, on met $a^3 b$ pour D^4.

Exprimé en mesures métriques :

Pour fonte $P = \frac{230\ D^4}{1.24\ D^2 + 0.00039\ l^2}$

Fer. . . . $P = \frac{267\ D^4}{1.24\ D^2 + 0.00034\ l^2}$

P est exprimé en kilogr., et l et D en centimètres.

P est le vrai poids que peut supporter la colonne.

ARTICLE II.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX FLEXIBLES.

RAIDEUR DES CORDES.

Pour peu qu'on essaie à fléchir une corde, plus son diamètre est grand, plus sa résistance est grande; c'est cette résistance que l'on nomme *raideur*.

Lorsqu'une corde est engorgée sur une poulie verticale (*Pl.* X, *fig.* 35), ses deux extrémités prennent les directions AB, AC, qui ne sont pas celles des verticales tangentes à la poulie.

C'est la raideur de la corde qu'il faut vaincre pour la ramener à suivre les deux verticales que nous nous proposons de mesurer.

Soient deux poids P égaux (*Pl.* X, *fig.* 36) suspendus de chaque côté de la corde. Soit p' un poids additionnel ajouté d'un côté pour faire équilibre à la raideur de ce côté; alors la portion de la corde où sont P et p' est verticale. Les raideurs étant égales de part et d'autre, si on laisse l'autre poids P seul, il fait équilibre à $P+p'$ de l'autre, à cause de la raideur qui existe encore, c'est-à-dire par le bras du levier CB.

D'où :
$$(P+p')\,r = P \times CB$$

Faisons $AB = m$:
$$(P+p')\,r = P\,(r+m)$$

d'où :
$$p'r = P\,m$$
$$p' = \frac{P\,m}{r}.$$

m dépend de la corde et doit être déterminée par expérience, ou bien p'. Connaissant l'un des deux, on a l'autre.

Nous allons déterminer p'.

Résultats d'expériences faites par Coulomb.

Il remplaça p' par Q (*Pl.* X, *fig.* 37); alors le poids p faisait équilibre au poids du cylindre.

Quand le poids Q était suffisamment fort pour mettre le cylindre en mouvement, c'était un signe que la raideur était vaincue.

Raideur des cordes à trois torons non goudronnées.

P liv. p.	Q livres poids.								
	CORDES No 1, 6 fils de caret, 12 lignes de tour.			CORDES No 2, 15 fils de caret, 20 lignes de tour.			CORDES No 3, 30 fils de caret, 28 lignes de tour.		
	LES DIAMÈTRES DES CYLINDRES ÉTANT :								
	1 pouce	2 pouces	4 pouces	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	2 pieds.	4 pieds.	6 pieds.
liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.	liv. p.
25	2	»	»	7	3.2	1.7	11	5.0	»
125	11	4.0	»	22	9.0	5.0	21	8.5	»
225	17	6.5	»	30	17.0	7.0	29	14.0	»
425	31	12.0	5.7	65	31.0	13.0	47	23.0	»
625	43	15.0	7.2	92	41.0	16.7	67	31.0	»
1025	»	»	11.0	»	»	27.0	»	50.0	34

Il s'agit de déduire une formule générale de tous ces résultats, s'il est possible.

A l'inspection de cette table nous remarquons :

Plus le diamètre de la corde est grand, plus Q augmente.

Q augmente donc en raison d'une puissance inconnue des diamètres des cordes.

Prenons deux valeurs de Q, 31 et 7,2, et les valeurs correspondantes des circonférences 63 millim. (28 lignes), et 27 millim. (12,5 lignes), car les circonférences sont entre elles comme leurs diamètres.

Soit n la puissance inconnue :

$$31 : 7.2 :: 28^n : 12.5^n$$

d'où : $$\left(\frac{28}{12.5}\right)^n = \frac{31}{7.2} \qquad n = 1.8$$

Dans d'autres, on trouve $n = 1.7$ et $n = 1.4$ au moins. n augmente avec le diamètre de la corde. On prend $n = 2$, ce qui ne peut nuire.

Donc :

1° A charges égales, P, Q, les raideurs des cordes sont entre elles comme les quarrés de leurs diamètres.

Si nous prenons la corde n° 3 et le cylindre de 54 millimètres (2 pouces) :

Pour	P = 25 liv. p.	. . . .	Q =	11 liv. p.
	P = 625 liv. p.	. . . .	Q =	67 liv. p.

Différence = 600 liv. p. . Différence = 56 liv. p.

Pour 300 kilog. (600 livres) ajoutés à la charge, il faut ajouter 28 kilog. (56 livres) à la force qui fait équilibre à la raideur.

Ou plutôt : la raideur augmente de 56 quand la charge augmente de 600.

$$600 : 56 :: 100 : x = 9.3$$

Si ce rapport 100 : 9,3 de P à Q est exact, il devra se vérifier; nous pourrons faire cette vérification en calculant Q sur P, d'après ce rapport, et le comparant au résultat de la table; par exemple, pour P = 25 livres :

$$100 : 9.3 :: 25 : x = 2.3$$

P	Q par le calcul.	Q dans la table.	Différence.
25 l.p.	21.p.300	11	8.700
125	11 325	21	9.675
225	20 925	29	8.075
425	39 525	47	7.475
625	58 125	67	8.875

Si les raideurs, d'après cela, sont proportionnelles aux charges, ce n'est pas dans le rapport de 9.3 à 100.

Mais de quelque manière que l'on s'y prenne, on trouve toujours les mêmes résultats; or, toutes ces différences sont sensiblement égales entre elles et approchent de 8 pour la corde en question.

Donc :

2° La charge P est proportionnelle à la raideur Q diminuée d'une quantité constante dépendant de la nature de la corde.

Ainsi :

P constant : $Q : Q' :: d^2 : d'^2$ diamètres des cordes,

d'où : $$Q = \frac{Q' d^2}{d'^2}$$

d constant : $P : P' :: Q - a : Q' - a$

d'où :
$$Q = \frac{P}{P'}(Q' - a) + a$$

Si enfin nous faisons la raideur des cordes égale à R, laquelle est égale à $Q = p'$, on a :

$$R = \frac{d^n}{D}(a + bP)$$

n étant 2, ou un nombre plus petit.
a est le nombre constant qui dépend de la corde employée.
D diamètre du cylindre, d diamètre de la corde.
b coefficient dépendant de P, pour plus d'exactitude.
Mettant la formule sous la forme

$$R = \frac{1}{D}(ad^n + bd^nP)$$

on a fait un tableau pour cette formule.

Le diamètre du cylindre est de 1 mètre.

CORDES.	Diamètre des cordes.	POIDS des CORDES par mètre	RAIDEUR constante ad^n.	RAIDEUR par kil. de charge bd^n.
	m.	k.	k.	k.
Blanches à 3 fils de caret......	0.02	0.2884	0.22246	0.0097382
Blanches à 15 fils de caret...	0.0144	0.1448	0.063514	0.0055182
Blanches à 6 fils de caret......	0.0088	0.0522	0.010638	0.0023804
Goudronnées à 30 fils, etc...	0.0236	0.3326	0.3496	0.0125514
Goudronnées à 15 fils........	0.0168	0.1632	0.105928	0.0060592
Goudronnées à 6 fils..........	0.0096	0.0693	0.021208	0.0025968

Si l'on veut faire usage de la formule et du tableau pour la pratique :

Soit R', D, d', P d'une autre corde :

$$R : R' :: d^n : d'^n \qquad D \text{ égaux}$$

$$R' = \frac{d'^n}{d^n} R = \frac{d'^n}{d^n} \frac{1}{D} \left(a\, d^n + b\, d^n P \right)$$

Pour les cordes goudronnées :

$$R' = \frac{1}{D} \left(a d^n + b\, d^n P \right) \frac{C'}{C}$$

C, C' étant le nombre de fils de caret.

D'après cette étude on voit que :

1° *Les cordes absorbent beaucoup de force par leur raideur;*

2° *Plus leur diamètre est grand, plus elles absorbent de force.*

On a été conduit par là à l'emploi des cordes plates.

Soit une corde plate composée de cinq cordes rondes de six fils de caret, on trouve dans la table :

$$\left.\begin{aligned} a d^n &= 0.0106 \\ b d^n &= 0.0024 \end{aligned}\right\} D = 1 \text{ mètre.}$$

$$5 \times 0.0130 = 0.0650 = \text{raideur totale.}$$

Prenons une corde ronde équivalente, de trente fils de caret, par conséquent :

$$a d^n = 0.2224$$
$$b d^n = 0.0097$$

$$0.2321 = \text{raideur totale.}$$

$$R : R' :: 650 : 2321$$
$$:: 1 : 3.5$$

Les plates valent mieux que les rondes sous ce rapport.

Elles ne peuvent s'enrouler en spirales sur les treuils.

Les rondes, sur de petites poulies, se cassent.

LIVRE II.

COMPOSITION GÉNÉRALE DES MACHINES.

Les machines sont des appareils destinés à effectuer un travail, soit comme *moteurs*, soit comme *outils;* par cette raison elles se composent toujours de deux parties, savoir :

La partie fixe,
La partie mobile.

Chacune de ces parties se compose de pièces; la partie fixe comprend toutes les pièces en repos, en quelque point de l'appareil qu'elles se trouvent; la partie mobile comprend toutes les pièces en mouvement.

Parmi les pièces on distingue :

1° Les pièces *principales* ou *spéciales*, dont les formes et dimensions sont propres au travail qu'exécute la machine dont elles font partie.

2° Les pièces *secondaires* ou *générales*, dont les formes sont constantes pour des relations analogues entre les diverses pièces principales, et dont les dimensions dépendent de l'importance de ces dernières.

D'après ce, il est facile de se convaincre que, pour chaque travail différent à effectuer, les formes et dimensions des pièces principales varient; mais il n'en est pas de même des formes et dimensions des pièces secondaires.

En effet, d'après la définition que nous en avons donnée, les pièces secondaires ne sont autre chose que des appareils de *communication* entre les pièces principales.

Or, il existe deux genres de communication :

La communication directe,
La communication indirecte.

La première s'effectue au moyen des pièces dites *d'assemblage* ou de *transmission de mouvement*, suivant qu'elles servent à relier des parties fixes ou des parties mobiles.

La seconde s'effectue au moyen de pièces dites de *transformation de mouvement*, et a lieu toutes les fois qu'il faut relier ensemble des pièces douées de mouvements différents.

Il existe donc deux espèces de pièces secondaires, dont le nombre, bien qu'indéfini théoriquement, se trouve considé-

rablement restreint pratiquement, c'est-à-dire, pour satisfaire à toutes les conditions de solidité, d'économie, de légèreté et d'élégance désirables. Aussi le nom de pièces générales convient-il beaucoup mieux à ces pièces que celui de pièces secondaires, par la raison qu'elles sont d'un usage général, car on les retrouve partout.

Pour démontrer que le nombre de ces pièces est restreint, il nous suffit de dire que les sections des pièces de machines aux points d'assemblage, dérivent généralement de l'une des trois figures géométriques suivantes, savoir :

Le *rectangle*,
Le *quarré*,
Le *cercle* ;

lesquelles donnent lieu aux douze assemblages principaux suivants :

Rectangle avec rectangle, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.
Rectangle avec quarré, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.
Rectangle avec cercle, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.
Quarré avec quarré, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.
Quarré avec cercle, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.
Cercle avec cercle, bout à bout.
id. *id.* d'équerre.

De même, pour les transformations de mouvement, on ne connaît dans les machines que deux mouvements, savoir :

Le mouvement rectiligne,
Le mouvement circulaire.

Ces mouvements peuvent être *continus* ou *alternatifs*, ce qui constitue quatre genres donnant lieu aux seize transformations suivantes, savoir :

1° Transformation du mouvement *rectiligne* continu en :
1° Rectiligne continu,
2° Rectiligne alternatif;
3° Circulaire continu,
4° Circulaire alternatif,

2° Transformation du mouvement rectiligne alternatif en :

1° Rectiligne continu,
2° Rectiligne alternatif;
3° Circulaire continu,
4° Circulaire alternatif.

3° Transformation du mouvement circulaire continu en :

1° Rectiligne continu,
2° Rectiligne alternatif;
3° Circulaire continu,
4° Circulaire alternatif.

4° Transformation du mouvement circulaire alternatif en :

1° Rectiligne continu,
2° Rectiligne alternatif;
3° Circulaire continu,
4° Circulaire alternatif.

C'est la réunion des pièces d'assemblage et de transformation de mouvement qui constitue la composition générale des machines; en conséquence, nous allons étudier successivement ces différents genres de communication et en déduire les formes des pièces relatives à chacun d'eux.

CHAPITRE PREMIER.

COMMUNICATION DIRECTE.

ARTICLE Ier.

COMMUNICATION ENTRE LES PIÈCES FIXES ET LES PIÈCES MOBILES.

1° *Mouvement rectiligne.*

Lorsqu'une pièce mobile est douée d'un mouvement rectiligne continu ou alternatif, elle exerce un frottement contre les pièces fixes qu'elle touche.

Ce frottement peut être de deux natures différentes; savoir :

Frottement de roulement,
Frottement de glissement.

Dans le premier cas, la pièce mobile est munie d'*axes en fer*, sur lesquels sont montés des cylindres en fer, fonte, cuivre ou bois, dont les formes et dimensions varient suivant la distance qui existe entre les axes et les pièces fixes.

Lorsque le diamètre de ces cylindres ne dépasse pas 20 centimètres (7 pouces 5 lignes), on les nomme :

Galets, en métal ;
Roulettes, en bois.

Lorsque le diamètre dépasse 20 centimètres (7 pouces 5 lignes), on les nomme *roues*, quel que soit, d'ailleurs, leur mode de construction.

Dans le second cas, la pièce mobile est munie de *glissoirs*, dont les formes et dimensions varient suivant la disposition des pièces en contact.

Dans les deux cas, les pièces fixes sur lesquelles a lieu le frottement sont munies de surfaces planes, dont les galets ou glissoirs suivent la direction ; ces surfaces portent le nom de *guides*.

La plupart du temps, lorsque l'on permet aux pièces mobiles de frotter contre les pièces fixes, sans nécessité, c'est que ces pièces mobiles ont besoin de guides pour suivre la direction que l'on veut leur imprimer. Alors la construction des pièces à surface plane est assujétie au genre de travail que la machine doit effectuer.

Les figures 39 et suivantes, *Pl.* X, représentent les divers genres de communications dont nous venons de parler, savoir :

Fig. 39 et 40. Frottement de roulement d'un axe vertical, doué d'un mouvement rectiligne alternatif, employé dans les machines à vapeur, système *Maudslay*.

Fig. 41 et 42. Frottement de roulement d'un axe horizontal, doué d'un mouvement rectiligne alternatif, employé dans les machines à vapeur, système *Taylor* et *Martineau*.

Fig. 42 *bis*. Frottement de glissement d'un axe horizontal, doué d'un mouvement rectiligne alternatif, employé dans les locomotives.

Lorsque le travail à effectuer est faible, si la pièce mobile est une tige, on se dispense de la munir de glissoirs, et elle passe elle-même dans le guide (*fig.* 46 et 47), qui consiste en une pièce fixe d'un ou plusieurs morceaux solidaires, percée d'un trou dont la section est exactement la même que celle de la tige.

2° Mouvement circulaire.

Lorsqu'une pièce mobile est douée d'un mouvement circulaire, soit continu, soit alternatif, elle est toujours montée sur un *arbre*, dont la communication avec les pièces fixes voisines a lieu par l'intermédiaire de supports.

Dans le cas particulier d'un mouvement circulaire alternatif, pour des pièces effectuant un travail léger, on emploie, au lieu de support, une charnière dont la forme varie suivant la situation de la pièce mobile au point d'assemblage.

On distingue plusieurs espèces de supports, savoir :

Le *support ordinaire* ou *palier* (*fig.* 48 et 49), qui s'emploie spécialement pour supporter les arbres horizontaux, quand la pièce fixe à laquelle ils doivent communiquer est située audessous.

La *chaise* (*fig.* 50 et 51), qui s'emploie de préférence pour supporter les arbres horizontaux, quand la pièce fixe à laquelle ils doivent communiquer est située en dessus.

La *crapaudine* (*fig.* 52 et 53), qui s'emploie de concert avec les supports ordinaires pour supporter les arbres verticaux.

Les parties des arbres qui passent dans les supports se nomment *tourillons*. Les tourillons sont toujours cylindriques, tandis que les arbres peuvent être cylindriques ou prismatiques, à volonté.

ARTICLE II.

COMMUNICATION ENTRE LES PIÈCES FIXES ENTRE ELLES OU LES PIÈCES MOBILES ENTRE ELLES.

§ 1er. — ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION RECTANGULAIRE AVEC UNE AUTRE PIÈCE A SECTION RECTANGULAIRE.

Les sections rectangulaires constituent toutes les pièces que l'on nomme *pièces plates*, et dont l'assemblage a lieu au moyen des *boulons* et *écrous*, ou des *rivets*, de la manière suivante :

1° Si les pièces sont placées bout à bout (*fig.* 54 et 55), on les superpose d'une quantité suffisante, soit simplement, soit avec un léger coude, pour conserver le même niveau aux surfaces principales, et on les perce de trous correspondants, dans lesquels on passe des boulons (*fig.* 54) que l'on serre par des écrous à froid, ou des rivets (*fig.* 55) que l'on aplatit à chaud.

2° Si les pièces sont à angle droit entre elles, on fait un *coin* à l'une d'elles (*fig.* 56) pour l'assembler comme précédemment, ou on place une cornière (*fig.* 57) entre les deux pièces.

Dans le premier cas, il ne faut qu'un boulon par point d'assemblage ; dans le second cas, il en faut deux.

Le premier mode s'emploie pour les assemblages de plaques

de fonte, comme dans les bâches de machines à vapeur, et pour ceux de tôles minces; le second mode s'est employé exclusivement, pendant longtemps, pour les tôles épaisses, dans les chaudières à vapeur dites *en tombeau*, et les locomotives. Mais, aujourd'hui, on préfère donner une courbure suffisante à l'une des deux tôles à assembler (*fig.* 58).

§ 2. — ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION RECTANGULAIRE AVEC UNE PIÈCE A SECTION QUARRÉE.

1° Si les pièces sont placées bout à bout, le meilleur assemblage consiste à déformer l'extrémité de l'une des deux pièces à assembler, et à lui donner la section de l'autre. Si c'est le quarré que l'on aplatit, l'assemblage se fait au moyen de boulons, comme ci-dessus; si, au contraire, c'est le rectangle que l'on équarrit, l'assemblage se fait au moyen d'un *manchon* (*fig.* 59), si les pièces sont pour tourner ensemble; et au moyen d'une *douille à clavette* (*fig.* 60), si l'une des pièces tire l'autre longitudinalement.

2° Si les pièces sont placées d'équerre, l'assemblage varie suivant la nature des métaux en contact.

Pour fer sur fer, on *soude* ou on *rive* sur embase (*fig.* 61).

Pour fonte sur fonte ou fer sur fonte, on *cale* le quarré dans un trou un peu plus grand pratiqué dans la fonte.

Si la pièce encastrée doit pouvoir se retirer à volonté, alors on taraude son extrémité sur une certaine longueur, et on met un écrou, ayant soin de réserver une embase de l'autre côté (*fig.* 62).

§ 3. — ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION RECTANGULAIRE AVEC UNE PIÈCE A SECTION CIRCULAIRE.

1° Si les pièces sont placées bout à bout, on fait comme ci-dessus, c'est-à-dire que l'on aplatit le rond, ou arrondit le rectangle. Dans le premier cas, l'assemblage se fait au moyen de boulons; dans le second cas, il se fait au moyen d'un manchon ou d'une douille : seulement, ici, le manchon est rond, ce qui nécessite l'emploi d'un *prisonnier* (*fig.* 63) dans chacun des arbres, sans quoi ils ne tourneraient pas ensemble.

2° Si les pièces sont placées d'équerre, cas des *boutons de manivelle* et des *tiges* de pistons, on fore la pièce plate d'un trou cylindrique ou conique, et on y place la pièce ronde, munie préalablement d'une embase, dans le cas de cylindre, et d'une mortaise pour recevoir une clavette de serrage (*fig.* 64).

§ 4. — ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION QUARRÉE AVEC UNE PIÈCE A SECTION QUARRÉE.

1° Si les pièces sont placées bout à bout, il peut se présenter deux cas :

Ou les côtés des quarrés sont égaux;

Ou les côtés des quarrés sont inégaux.

Dans le premier cas, l'assemblage se fait au moyen d'un manchon ou d'une douille à trou quarré avec clavette, ou à trait de Jupiter, avec manchon (*fig.* 66).

Dans le second cas, l'assemblage se fait au moyen d'un manchon à deux sections intérieures (*fig.* 67), ou d'une douille à clavette placée sur le quarré du plus grand côté.

2° Si les pièces sont placées d'équerre, l'assemblage se fait au moyen d'un *étrier à clavettes* (*fig.* 68 et 69).

§ 5. ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION QUARRÉE AVEC UNE PIÈCE A SECTION CIRCULAIRE.

1° Si les pièces sont placées bout à bout, on ramène toujours le quarré au rond, en passant par l'octogone régulier, et alors l'assemblage se fait au moyen d'un manchon pour la rotation, ou d'une douille pour la traction, soit fixe (*fig.* 70, 71, 72 et 73), soit à charnière, suivant que l'une des pièces possède, outre son mouvement rectiligne, un mouvement circulaire alternatif.

2° Si les pièces sont placées d'équerre, il peut se présenter deux cas :

Ou c'est la pièce quarrée qui porte par son extrémité sur la pièce ronde,

Ou c'est la pièce ronde qui porte par son extrémité sur la pièce quarrée.

Dans le premier cas, l'assemblage se fait au moyen d'une *chappe à tête ronde* (*fig.* 74), quand les deux pièces sont fixes l'une par rapport à l'autre, et d'une *chappe à coussinets* quand la pièce ronde doit tourner sur elle-même.

Dans le second cas, on fait passer le rond au quarré par un octogone régulier, et l'assemblage se fait comme celui des deux quarrés (*fig.* 68 et 69).

§ 6. — ASSEMBLAGES D'UNE PIÈCE A SECTION CIRCULAIRE AVEC UNE PIÈCE A SECTION CIRCULAIRE.

1° Si les pièces sont placées bout à bout, l'assemblage se fait au moyen d'une *douille*, soit fixe (*fig.* 70), soit à *char-*

nière, suivant que l'une des pièces est douée d'un mouvement circulaire alternatif ou non, indépendamment du mouvement commun.

2° Si les pièces sont placées d'équerre, l'assemblage se fait au moyen d'un T.

Dans le cas où l'une des pièces est mobile, on met une chappe à coussinets, portant sur une tête quarrée qui termine la pièce ronde de bout.

CHAPITRE II.

COMMUNICATION INDIRECTE.

ARTICLE Ier.

TRANSFORMATION DU MOUVEMENT RECTILIGNE CONTINU.

§ 1er. — RECTILIGNE CONTINU EN RECTILIGNE CONTINU.

Cette transformation s'opère au moyen d'une corde passée sur la gorge d'une poulie (*Pl.* X, *fig.* 75 et 76) supportant par l'une de ses extrémités un poids quelconque P, et par l'autre un poids moteur Q, suffisant pour faire équilibre, à la fois, au poids P, à la raideur R de la corde et au frottement F de l'axe de la poulie dans les coussinets :

$$Q = P + R + F.$$

Cette corde peut être non-seulement verticale, mais encore inclinée ou horizontale.

Dans le cas d'une corde inclinée, les poids agissants sont différents, c'est le plan incliné.

Soit α (*fig.* 77) l'inclinaison d'un plan sur lequel il faut faire monter le poids Q au moyen du poids inconnu x, par l'intermédiaire d'une corde et d'une poulie.

La force Q se décompose en deux autres :

L'une $Q \sin. \alpha$ dirigée suivant OA, parallèle au plan;

L'autre $Q \cos. \alpha$ dirigée suivant OB, normale au plan.

Soit a le chemin parcouru pendant la première seconde;

f le coefficient du frottement du corps sur le plan.

Le travail à produire pour faire parcourir au corps l'espace a est :

$$a\, Q \sin. \alpha + a\, Q \cos. \alpha f.$$

Si R est la raideur de la corde, R a est le travail absorbé par cette raideur; le travail total à produire est donc :

$$a\,(Q \sin. \alpha + Q \cos. \alpha f + R).$$

Soit na l'espace que parcourrait le poids x pendant la première seconde s'il tombait librement, nax est le travail produit par ce poids pendant la première seconde.

Or, puisque x met en mouvement tout le système et lui fait parcourir a pendant la première seconde, le travail qu'il produit, en tombant seul, doit être égal à celui qu'il produit quand il entraîne avec lui tout le système, et on a :

$$nax = a\,(Q \sin.\alpha + Q \cos.\alpha f + R + x)$$

d'où : $$(n-1)\,x = Q \sin.\alpha + Q \cos.\alpha f + R$$

et $$x = \frac{Q\,(\sin.\alpha + Q \cos.\alpha f) + R}{n-1}$$

L'espace parcouru par un corps tombant librement, pendant la première seconde est $\frac{9.81}{2} = 4.^{m}90$.

Connaissant a, par hypothèse, on détermine n en posant :

$$n = \frac{4.^{m}90}{a}$$

Si on veut transmettre le mouvement rectiligne dans un sens quelconque, on emploie plusieurs poulies, dont chacune d'elles se trouve dans un même plan avec les deux portions de la corde qui l'embrassent.

Si on veut transmettre le mouvement rectiligne avec des vitesses différentes, on emploie alors deux cordes montées sur deux poulies ayant même axe (*fig.* 78) et des diamètres différents.

Si Q est le poids moteur, on a :

$$Q \times R = P \times r + F + \varphi\, R + \varphi'\, r$$

φ et φ' étant les raideurs des cordes pour les rayons R et r.

Si on veut transmettre le mouvement rectiligne perpendiculairement à la force qui agit, on emploie le *coin a* (*fig.* 79) se mouvant sur le plan incliné B. Ce mode de transformation est employé spécialement dans les laminoirs à tôle pour serrer les cylindres, et aussi dans les roues hydrauliques pour soulever l'axe.

On emploie dans les scieries, pour le même objet, le parallélogramme représenté figure 80. La règle B restant fixe, si on pousse la règle A de gauche à droite, elle fait avancer l'arête $b\,b'$ bien parallèlement à l'arête $a\,a'$; de plus, pour un

mouvement très-appréciable de A, de gauche à droite, l'arête *b b'* ne monte que d'une quantité très-petite, ce qui permet de scier des planches aussi minces que l'on veut, et également.

§ 2. — MOUVEMENT RECTILIGNE CONTINU EN RECTILIGNE ALTERNATIF.

Cette transformation s'exécute au moyen des deux suivantes, savoir :

Mouvement rectiligne continu en circulaire continu ;

Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif.

Nous renvoyons donc à ces deux paragraphes, pour la solution du présent.

§ 3. — MOUVEMENT RECTILIGNE CONTINU EN CIRCULAIRE CONTINU.

Cette transformation s'effectue au moyen du *treuil* (*fig.* 81), qui sert en même temps à transformer le mouvement circulaire continu en rectiligne continu.

Elle s'effectue encore au moyen de l'eau (*fig.* 82) agissant sur une roue hydraulique.

Enfin, l'action du vent sur les ailes d'un moulin (*Pl.* XI, *fig.* 1 et 2) est encore une transformation de ce genre.

§ 4. — MOUVEMENT RECTILIGNE CONTINU EN CIRCULAIRE ALTERNATIF.

Cette transformation s'effectue de la manière suivante :

Soit A un axe (*fig.* 3) sur lequel sont fixés deux augets B et C contigus. Soient D un orifice par lequel de l'eau s'écoule constamment ; E, F deux points d'arrêt.

Si les points d'arrêt sont situés de telle manière que quand l'un des augets est renversé, l'auget B, par exemple, le centre de gravité de l'autre auget C, plein d'eau, soit sur une verticale à droite du centre de l'axe A, cet axe décrit un mouvement rectiligne alternatif par la chute continue de l'eau de l'orifice D.

On emploie dans les rivières, pour faire traverser les bacs, la disposition suivante :

Soient A B (*fig.* 4) la direction du courant de l'eau, O un point fixe, et O C une corde attachée en un point C du bac entre le milieu de sa longueur et l'extrémité, tel que le bateau se tienne dans une position inclinée par rapport au courant.

Soit F la pression du courant contre la face inclinée du bateau, cette force se décompose en deux autres, savoir :

f, tangente à la circonférence décrite du point O, comme centre, avec O C pour rayon, qui obtient son effet.

f', parallèle au bateau, qui est perdue.

Il résulte de là que, dans la position de la figure 4, le bateau traverse de la rive D à la rive E.

L'inverse a lieu quand on prend le point C de l'autre côté du milieu du bateau.

ARTICLE II.

TRANSFORMATION DU MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF.

§ 1er. — MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF EN RECTILIGNE CONTINU.

Cette transformation s'exécute au moyen des deux suivantes :

Mouvement rectiligne alternatif en circulaire continu;

Mouvement circulaire continu en rectiligne continu,

auxquelles nous renvoyons.

§ 2. — MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF EN RECTILIGNE ALTERNATIF.

Cette transformation s'exécute au moyen des appareils représentés figures 17, 18 et 19, selon la direction suivant laquelle la transmission doit avoir lieu.

Fig. 17 et 19. Transmission du mouvement rectiligne alternatif de la bielle D à la corde *a* se mouvant dans un plan parallèle à celui du mouvement de la bielle D.

Fig. 18. Transmission du mouvement rectiligne alternatif de la bielle F à la corde *b* se mouvant dans un plan perpendiculaire à celui du mouvement de la bielle F.

Dans ces trois figures, comme dans toutes les transformations du mouvement rectiligne alternatif qui ne sont pas directes, il y a une transformation intermédiaire en circulaire alternatif; c'est pourquoi nous renvoyons à l'article 4 pour l'examen de tous les cas particuliers de la présente.

§ 3. — MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF EN CIRCULAIRE CONTINU.

Cette transformation s'exécute au moyen de l'appareil représenté figures 5 et 6.

e est un point doué d'un mouvement rectiligne alternatif et formant l'extrémité d'une tige (*fig.* 5).

cc' est une manivelle montée sur l'arbre *d* et portant à son *bouton u* un pignon B se mouvant dans une roue d'engrenage

A à dents intérieures, dont le diamètre est double de celui du pignon B.

Le point *e* étant doué d'un mouvement rectiligne alternatif dont la course est égale à quatre fois le rayon de la manivelle, cette dernière est douée d'un mouvement circulaire continu.

Pour démontrer cette propriété, soit AB (*fig.* 6) le diamètre de la grande roue.

Soit D un point quelconque pris sur ce diamètre, et ODE une petite circonférence passant par ce point et ayant pour rayon $OE = \frac{1}{2} AB$.

Le point E étant le point de contact de la petite circonférence sur la grande, et les distances DC, CO étant constantes, il faut, pour que la propriété sus-énoncée ait lieu, que l'arc DFE soit égal à l'arc AE, car alors on verra clairement que la petite circonférence, roulant dans la grande et partant du point A, a transporté ce point en D.

Or, si par C on mène CF parallèle à OA, on a :

Angle ODE = un droit, comme inscrit dans une demi-circonférence;

Angle CFE = un droit, à cause du parallélisme.

CF est donc une perpendiculaire sur le milieu de la corde DE (*Géométrie élémentaire*).

Alors l'arc FE est égal à l'arc DE; mais l'angle AOE est égal à l'angle FCE. Le premier a pour mesure AE; le second a pour mesure FE. Les circonférences sont entre elles comme leurs rayons; et comme $CE = \frac{1}{2} OE$, il en résulte que $EF = \frac{1}{2} AE$.

Donc : $DFE = AE.$

Cette transformation de mouvement s'opère encore au moyen de la bielle et de la manivelle (*fig.* 20).

A est un point, l'extrémité d'une tige, doué d'un mouvement rectiligne alternatif; B est une bielle; C, une manivelle montée sur l'arbre *a* et douée, ainsi que lui, d'un mouvement circulaire continu.

Ce genre de transformation de mouvement, si usité dans les machines, est assez intéressant pour que nous en donnions une théorie complète.

CALCULS DES MANIVELLES.

1° *Manivelles simples.*

Soient O (*fig.* 7) le centre de la manivelle et *m*O la ligne sui-

vant laquelle a lieu le mouvement rectiligne alternatif. Pendant la rotation, la bielle a une de ses extrémités en m, m', m'', m''', etc., tandis que l'autre se trouve en B, B', B'', etc., sur la circonférence décrite par le *bouton* B de la manivelle. Il résulte de là que, l'action du moteur étant constante, celle de la bielle sur la manivelle est variable suivant son inclinaison sur la ligne mO.

Comme, en admettant ces variations d'actions, la théorie de l'appareil se compliquerait inutilement; comme, d'autre part, la bielle est toujours assez longue pour que les variations dans l'intensité de la force transmise par elle soient peu appréciables, nous supposerons, dans tous les calculs qui vont suivre, que la bielle se meut parallèlement à elle-même, et qu'alors son action sur le bouton de manivelle est constante.

Soient P l'action de la bielle sur le bouton de manivelle B; Q la résistance qu'oppose ce bouton au mouvement, tangentiellement à la circonférence qu'il décrit.

La résistance étant tangente à la circonférence décrite par le point B, son bras de levier est constant et égal au rayon r de cette circonférence; on a alors pour moment de la résistance :

$$Q \times r$$

Pour la puissance, au contraire, le moment varie à chaque instant, comme il est facile de le démontrer en considérant P comme appliquée au point B'. Prolongeant PB' jusqu'en D, le moment de P, par rapport au point O, est :

$$P \times OD = P \times B'D'.$$

Au fur et à mesure que B' se rapproche de B, OD diminue, et pour B' en B on a: $OD = o$.

De même, au fur et à mesure que B' se rapproche de B'', OD augmente, et pour B' en B'' on a : $OD = OB'' = r$.

Ainsi, les moments de la puissance varient entre o et Pr.

Si le travail produit pendant une révolution est égal au travail absorbé, il faut que le moment de la résistance soit compris entre o et Pr, c'est-à-dire que l'on ait :

$$o < Q < P.$$

La valeur de Q s'obtient de la manière suivante :

A chaque tour de la manivelle, un point quelconque de la bielle est descendu d'une quantité égale à BA et remonté d'une même quantité. BA étant le diamètre du cercle représenté

par $2r$, le chemin parcouru par la puissance, pendant un tour de manivelle, est $4r$, et le travail produit est :

$$4r \times P.$$

La résistance Q décrit une circonférence dont la longueur est $2\pi r$; le travail absorbé par elle est donc :

$$2\pi r \times Q.$$

Pour l'équilibre de travail, il faut :

$$4r \times P = 2\pi r \times Q.$$

d'où : $$Q = \frac{2}{\pi} P = \frac{2}{3.1416} P$$

On peut demander quel est le point où le moment de la puissance est égal à celui de la résistance; pour cela, il suffit de poser :

$$Qr = \frac{2P}{3.1416} \times r = P \times x$$

d'où : $$x = \frac{2r}{3.1416}$$

Dans la manivelle simple, on a donc :

Effort minimum	:	effort moyen	:	effort maximum
:: 0	:	$\frac{2Pr}{3.1416}$	:	Pr
:: 0	:	$\frac{2P}{3.1416}$	:	P
:: 0	:	0.637	:	1

2° *Manivelles doubles.*

On distingue deux espèces de manivelles doubles, savoir :

La manivelle double à boutons opposés (*fig.* 8),

La manivelle double à boutons d'équerre (*fig.* 9).

Pour la première, si la puissance se compose de $\frac{1}{2}P$ appliqué en B et $\frac{1}{2}P$ appliqué en B', les relations entre la puissance et la résistance sont les mêmes que dans la manivelle simple.

Pour la seconde, si $\frac{1}{2}$ P est appliqué en B et $\frac{1}{2}$ P en B′, on a :

1° Effort minimum $= \frac{1}{2} P \times o + \frac{1}{2} P \times r = \frac{1}{2} P r$;

2° Effort moyen $= Q r = 4 r P$

car on a : $2 \pi r Q = \frac{1}{2} P \times 4 r + \frac{1}{2} P \times 4 r$

d'où : $$Q = \frac{2 P r}{3.1416}$$

3° Effort maximum $= \frac{P r}{\sqrt{2}}$

ce qui s'obtient en remarquant que quand le bras du levier de l'une des composantes de la puissance croît, celui de l'autre décroît, et qu'alors il doit être une position des manivelles pour laquelle la somme des moments de ces composantes est un maximum.

Or, les deux triangles COD, C'OD', ayant un côté égal r compris entre deux angles égaux, à cause de la perpendicularité des côtés, sont égaux entre eux, ce qui donne :

$$OD = C'D' \text{ et } CD = OD'$$

Il faut : $OD + OD' =$ un maximum.

c'est-à-dire : $C'D' + CD =$ un maximum.

Joignons CC′, il vient :

$$CD < CE \qquad C'D' < C'E$$

Plus le point C baisse, plus le point D se rapproche du point C ; et quand enfin l'angle COB $= 45°$, la ligne CC' est perpendiculaire à OB, et se confond avec CD et C' D'; d'où :

$$CD = CE \qquad C'D' = C'E$$

Il en résulte que le maximum de valeur de OD+OD' correspond à cette position pour laquelle on a :

$$\overline{OD}^2 = \overline{DC}^2 = \frac{1}{2} \overline{OC}^2$$

d'où : $$OD = OC \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{r}{\sqrt{2}}$$

et : $$\left(\tfrac{1}{2}P+\tfrac{1}{2}P\right)\times OD=\frac{Pr}{\sqrt{2}}$$

On a donc :

Effort minimum	:	effort moyen	:	effort maximum
:: $\frac{1}{2}Pr$	:	$\frac{2Pr}{3.1416}$	:	$\frac{Pr}{\sqrt{2}}$
:: $\frac{1}{2}P$	:	$\frac{2}{3.1416}P$	:	$\frac{P}{\sqrt{2}}$
:: $\frac{1}{2}$	:	$\frac{2}{3.1416}$	:	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
:: 0.707	:	0.90	:	1

3° *Manivelle triple.*

La manivelle triple se compose de trois manivelles simples dirigées suivant les rayons menés du centre aux sommets du triangle équilatéral circonscrit (*fig.* 10).

Cette manivelle jouit de la propriété suivante, savoir :

Si on mène un diamètre quelconque A A', la somme des perpendiculaires B C + B' C', abaissées des deux points B et B' situés d'un même côté de ce diamètre, est égale à la perpendiculaire B''C'' abaissée du point B'' situé de l'autre côté.

Pour démontrer cela, il suffit de prolonger le rayon B O en D; abaisser du point D la perpendiculaire D D' sur B'' C''; joindre D B'' et mener O F parallèle à C''B''.

On a alors deux triangles D O E, O B C qui sont égaux, comme ayant un côté égal, adjacent à deux angles égaux, d'où on conclut :

$$BC = OE = C''D'$$

On a ensuite deux triangles D D'B'', B' C' O qui sont égaux, comme ayant les trois côtés parallèles, et l'un deux, B'' D du premier, égal à son homologue B' O du second (la figure B'O B''D étant un losange); d'où on conclut :

$$B'C' = B''D'$$

et : $$BC + B'C' = C''D' + B''D' = B''C''$$

Cela dit, si on applique à chacun des points B, B', B'' une

force égale à $\frac{1}{3}$ P, la somme des bras du levier, situés d'un même côté du diamètre, étant égale au bras du levier situé de l'autre côté, on a :

$$\tfrac{1}{3} P \times B''C'' = \tfrac{1}{3} P \times BC + \tfrac{1}{3} P \times B'C'$$

Ce qui indique que si les trois forces agissent toutes dans le même sens, en même temps, elles sont en équilibre, dans quelque position que se trouve la manivelle. Mais ce n'est pas le cas actuel où les forces situées d'un même côté du diamètre agissent de haut en bas, et celles situées de l'autre agissent de bas en haut, c'est-à-dire s'ajoutent, ce qui donne pour moment de la puissance aux points B, B', B'' :

$$\tfrac{1}{3} P\times BC + \tfrac{1}{3}P\times B'C' + \tfrac{1}{3}P\times B''C'' = \tfrac{2}{3} P\times B''C''$$

Pour déterminer les rapports entre les efforts minimum, moyen et maximum, nous remarquons que l'effort minimum correspond à la position de la manivelle, pour laquelle le moment de l'une des forces est nul (*fig.* 11), auquel cas on a :

1° Effort minimum $= \tfrac{1}{3} P r \sqrt{3}$

car $\tfrac{1}{3} P \left(B'C + B''C\right) = \tfrac{2}{3} P \times B'C = \tfrac{2}{3} P \sqrt{r^2 - \frac{r^2}{4}}$

$$= \frac{3 r^2}{4} = \tfrac{2}{3} P \sqrt{\frac{3 r^2}{4}} = \tfrac{1}{3} P r \sqrt{3}$$

Pour l'effort moyen, on a :

$$\tfrac{1}{3} P \times 4r) 3 = 2 \pi r Q, \quad \text{donc :}$$

2° Effort moyen $= \dfrac{2 P r}{\pi}$

Pour l'effort maximum, on remarque qu'il a lieu lorsque l'un des bras du levier est un maximum, c'est-à-dire horizontal, ce qui donne (*fig.* 12.) :

3° Effort maximum $= \tfrac{2}{3} P r$

car OC est moitié de OD ou de r, et alors on a :

$$\tfrac{1}{3} P\times OB + \tfrac{1}{3} P\times OC + \tfrac{1}{3} P\times OC = \tfrac{1}{3} P\left(r + \frac{2r}{2}\right)$$

$$= \tfrac{2}{3} P r$$

Résumant, il vient :

Effort minimum	:	effort moyen	:	effort maximum
:: $\frac{1}{3}Pr\sqrt{3}$	:	$\frac{2Pr}{3.1416}$	:	$\frac{2}{3}Pr$
:: $\frac{P}{\sqrt{3}}$	:	$\frac{2P}{3.1416}$	:	$\frac{2}{3}P$
:: $\frac{1}{\sqrt{3}}$	:	$\frac{2}{3.1416}$	:	$\frac{2}{3}$
:: 0.866	:	0.955	:	1

Si nous comparons les résultats obtenus par les trois genres de manivelles, nous trouvons :

	Effort minimum.	Effort moyen.	Effort maximum.
Manivelle simple	0,000.	0,637.	1,000.
Manivelle double	0,707.	0,900.	1,000.
Manivelle triple.	0,866.	0,955.	1,000.

Ce qui indique que plus le nombre des manivelles est considérable, plus les efforts extrêmes de la puissance se rapprochent de l'effort moyen exercé par elle.

Lorsque le nombre des manivelles dépasse *trois*, il faut qu'il soit impair, pour que l'on obtienne le résultat que nous venons de mentionner, sans quoi les effets sont les mêmes que ceux des manivelles dont le nombre des bras est moitié seulement. Ainsi, la manivelle à quatre bras produit le même effet que la manivelle à deux bras, et ainsi de suite.

Il peut arriver que la puissance n'agisse que dans un sens, de haut en bas par exemple ; dans ce cas, le travail produit par elle, pendant la demi-révolution du bouton, doit être égal au travail absorbé par la résistance pendant la révolution toute entière, et on a pour la manivelle simple :

$$2Pr = 2\pi r Q$$

d'où :
$$Q = \frac{P}{\pi}$$

L'effort moyen est, dans ce cas, moitié de ce qu'il était dans le cas d'une action continue.

§ 4. — MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF EN CIRCULAIRE ALTERNATIF.

Cette transformation s'opère au moyen de la bielle et du levier, comme le représente la figure 13, dans laquelle le point A est doué d'un mouvement rectiligne alternatif, et le point B d'un mouvement circulaire alternatif autour du point C.

On emploie aussi, pour percer, un foret représenté *fig.* 14. Il consiste en une tige CD, munie à sa partie inférieure d'une *mèche* surmontée d'une masse E de cuivre ou de plomb, faisant volant, et à sa partie supérieure d'un œil C dans lequel passe une ficelle dont les extrémités sont en A et B de la traverse mobile AB. On fait tourner l'outil jusqu'à temps que toute la ficelle soit enroulée dessus la tige, ce qui fait monter la traverse AB; alors on appuie sur cette traverse, ce qui, en la faisant descendre, déroule en même temps la ficelle, met en mouvement de rotation l'outil, enroule la ficelle en sens contraire et fait remonter la traverse à vide, et ainsi de suite; il n'y a d'action à produire que pour faire descendre la traverse.

On emploie encore, pour forer, l'archet et la poulie (*fig.* 15), qui n'ont besoin d'aucune explication.

On emploie aussi, pour tourner le bois, l'appareil représenté *fig.* 16. Le pied, placé sur une marche, tire la corde en A, de haut en bas, et un ressort placé au plafond la tire en A, en sens contraire, toutes les fois que le pied lève.

Enfin on emploie, dans les machines à vapeur, pour transformer le mouvement rectiligne alternatif de la tige du piston en celui circulaire alternatif du balancier, les divers appareils suivants :

1° Le parallélogramme de *Watt* (*fig.* 21), dans lequel A est la tige du piston et B le balancier.

2° Le parallélogramme d'*Oliver Evans* (*fig.* 24), dans lequel A et B représentent les mêmes objets que ci-dessus.

Parallélogramme de WATT.

1° Soient A et B (*fig.* 22) deux points par chacun desquels nous menons une horizontale.

Prenons AC = BD et joignons DC, AB. Le point E, intersection de DC et AB est le centre du parallélogramme ACBD, donc AE = EB, DE = EC. Par le point E, menons la verticale EF et faisons tourner les deux points C et D autour de leurs

centres A et B, de manière qu'ils conservent toujours entre eux la distance DC. Le point E décrit une courbe assez voisine de la droite EF, et qu'il est inutile de figurer ici ; nous dirons seulement que pour obtenir la position E' du point E correspondant à la position D' de D, il suffit de décrire du point D', comme centre, pris sur l'arc DD', un arc de cercle d'un rayon = DC, lequel rencontre l'arc CC' en C'; le milieu de D' C' donne E'.

En combinant convenablement la direction, les longueurs des leviers et la course du point E, il arrive que la courbe décrite par ce point est tellement rapprochée de la verticale, qu'on peut la considérer pratiquement comme une ligne droite. Il résulte de là que, si on imprime au point F un mouvement rectiligne alternatif, chacun des deux points C et D est doué d'un mouvement circulaire alternatif.

2° Soient E', E'' etc. (*fig.* 23), des points situés sur la droite imaginaire AB, et reliés par des parallèles E' C', E' D', E'' C'', E'' D'', etc., au balancier BD et à la traverse DC. Les courbes décrites par ces points, pendant le mouvement, seront semblables à celles décrites par le point E, et si le point E se meut en ligne droite, les points E', E'' se mouvront aussi en ligne droite.

En effet, considérons une position D_1 du point D entraînant les positions C_1 E_1 pour les points C et E, et la position E_1'' pour le point E''.

La figure D D'' E'' C'' étant un parallélogramme, la figure D_1 D_1'' E_1'' C_1'' en est aussi un.

Le triangle E'' E C'' étant semblable au triangle DEB, le triangle E_1'' E_1 C_1'' est aussi semblable au triangle D_1 E_1 B_1, et comme E_1 C_1'' est le prolongement de D_1 E_1 ; E_1'' E_1 est aussi le prolongement de E_1 B.

On a, d'une part :

$$E''E : EB :: F''C'' : DB$$

d'autre part :

$$E_1''E_1 : E_1B :: E_1''C_1'' : D_1B$$

Remplaçant dans la seconde équation $E_1''C_1''$ et D_1B par leurs égaux E''C'' et DB, il vient :

$$E_1''E_1 : E_1B :: E''C'' : DB : E''E : EB$$

Les droites E''E_1'', EE_1 divisant les deux droites BE'', BE_1'' en

parties proportionnelles, sont parallèles entre elles; donc la courbe décrite par E'' est semblable à celle décrite par E, etc.

Soient donc b et k (*fig.* 21) les centres fixes : le point g se mouvant en ligne droite, le point c, et par suite la tige A, se meut en ligne droite. Réciproquement, si la tige A est douée d'un mouvement rectiligne alternatif, elle communique au balancier B un mouvement circulaire alternatif.

*Parallélogramme d'*Oliver Evans.

Soient C (*fig.* 25) le centre d'un balancier, mobile sur la ligne horizontale A C C'; A le centre d'un levier dont l'extrémité B est fixée au point B, milieu de la portion DC du balancier, laquelle est double de AB.

Un point m quelconque du balancier décrivant un mouvement circulaire alternatif, le point D décrit un mouvement rectiligne alternatif, passant par le point A.

En effet, la distance du point B aux trois points D, A, C étant la même pour tous, si du point B, comme centre, avec un rayon égal à AB, on décrit une circonférence, elle passe par les trois points D, A, C et alors l'angle inscrit est droit; le point D se trouve donc toujours sur la perpendiculaire élevée au point A sur l'horizontale AC.

Réciproquement, si le point D est doué d'un mouvement rectiligne alternatif, il communique au balancier un mouvement circulaire alternatif.

ARTICLE III.

TRANSFORMATION DU MOUVEMENT CIRCULAIRE CONTINU.

§ 1er. — CIRCULAIRE CONTINU EN RECTILIGNE CONTINU.

Cette transformation s'opère au moyen du cric (*fig.* 26 et 27), dont nous avons donné la théorie en statique.

Elle s'opère aussi au moyen du cabestan (*fig.* 28) ou du treuil, dont nous avons aussi donné la théorie en statique.

Le cabestan diffère du treuil en ce que, sur le treuil, la corde reste tout entière sur le tambour au fur et à mesure que l'on enroule, tandis que sur le cabestan, au contraire, la corde fait trois ou quatre tours au plus sur le tambour, de manière à ce que son frottement sur ce dernier soit suffisant, et se déroule d'un côté au fur et à mesure qu'elle enroule de l'autre.

On emploie aussi, pour élever les fardeaux à une hauteur un peu grande, la *grue*, représentée figure 29.

On emploie, pour opérer de grandes pressions, la *vis* (*fig.* 30 et 31), dont la théorie a été donnée en statique. On distingue deux vis : la vis à filet quarré (*fig.* 30), et la vis à filet triangulaire (*fig.* 31.)

La première est employée exclusivement pour opérer une pression, soit graduellement, soit instantanément; la seconde s'emploie lorsqu'il s'agit de rapprocher deux pièces l'une de l'autre, c'est-à-dire, effectuer un serrage.

La compression graduelle, par la vis, s'opère au moyen de la presse à vis (*fig.* 32).

La compression instantanée, par la vis, s'opère au moyen du balancier.

Dans le premier cas, le pas est très-court; dans le second, au contraire, il est très-allongé, et alors, pour que le nombre des filets résistant dans l'écrou soit suffisant, on en met plusieurs séries.

La vis s'emploie encore, dans les instruments de précision (*fig.* 36), pour déterminer exactement la position d'une pièce.

On emploie encore, pour la transformation du mouvement circulaire continu en rectiligne continu, le *pignon* et la *crémaillère* (*fig.* 34 et 35), dont nous avons donné la théorie pour le tracé des dents dans le chapitre relatif aux engrenages.

§ 2. — MOUVEMENT CIRCULAIRE CONTINU EN RECTILIGNE ALTERNATIF.

Cette transformation s'exécute au moyen de la manivelle et de la bielle (*fig.* 20). C'est l'inverse de la transformation du mouvement rectiligne alternatif en circulaire continu.

Elle s'opère encore au moyen de l'excentrique (*fig.* 37).

On distingue plusieurs espèces d'excentriques, savoir :

Les excentriques à mouvement continuel (*Pl.* XII, *fig.* 1), parmi lesquels on distingue l'excentrique en cœur (*fig.* 2) destiné à faire avancer la pièce, douée du mouvement rectiligne alternatif, de quantités égales pour des arcs de cercle égaux décrits par l'excentrique ;

L'excentrique à mouvement intermittent (*fig.* 3), dont la forme varie à l'infini suivant le genre de transformation de mouvement à effectuer.

On emploie aussi l'arbre à cames (*fig.* 4). Dans les machines outils, on emploie assez les dispositions représentées figures 5 et 6, la première pour de petites courses de la pièce douée du mouvement rectiligne, et la seconde pour des courses in-

déterminées de cette pièce. L'arbre *b* du pignon a la faculté de glisser, dans une coulisse verticale, d'une quantité suffisante pour que le pignon puisse engrener en-dessus ou en-dessous des petits cylindres *a*, de sorte que quand la plaque est arrivée à la fin de sa course, soit à gauche, soit à droite, le pignon, tournant toujours et portant sur le dernier cylindre, traverse et vient engrener du côté opposé à celui où il était auparavant. Les cylindres *a* sont mobiles et suffisamment espacés pour que l'un d'eux *a*, étant enlevé, le pignon puisse passer entre les deux cylindres adjacents à celui-là; de cette manière, on règle la course à volonté.

Cette disposition est employée dans les petites machines à raboter les métaux, de MM. *Scharpp* et *Roberts*, de Manchester.

On emploie aussi, pour enfoncer des pieux, la sonnette à déclic (*fig.* 7 et 8). On peut employer les appareils représentés figures 12 et 13 pour certaines opérations n'exigeant pas une grande force.

§ 3. — MOUVEMENT CIRCULAIRE CONTINU EN CIRCULAIRE CONTINU.

Cette transformation s'opère au moyen des poulies et courroies (*fig.* 14, 15 et 16). Les poulies sont tantôt à gorge, tantôt sans gorge. Généralement il est convenable de faire usage de poulies sans gorge, toutes les fois que le travail à transmettre n'est pas considérable. Les tambours, ou poulies sans gorge, d'une largeur indéfinie, et portant plusieurs courroies, doivent être rejetés dans tous les cas, vu la nécessité dans laquelle ils mettent d'arrêter le moteur toutes les fois que l'on veut remettre une courroie.

On emploie aussi, pour cette transformation de mouvement, les engrenages cylindriques et coniques (*Pl.* XI, *fig.* 34, et *Pl.* XII, *fig.* 17 et 18), dont nous avons donné la théorie au chapitre des engrenages.

§ 4. — MOUVEMENT CIRCULAIRE CONTINU EN CIRCULAIRE ALTERNATIF.

On emploie, pour cette transformation de mouvement, la disposition représentée figure 19, *Pl.* XII.

a et *b* sont deux arbres dont les axes, situés dans un même plan, sont perpendiculaires entre eux. L'arbre *a* est doué d'un mouvement circulaire continu.

A est une roue conique, dentée seulement sur une portion de sa circonférence au plus égale à la moitié de cette circonférence.

C, D sont deux roues fixées sur b et pouvant engrener avec A.

Par suite de cette disposition, lorsque la portion dentée de la roue A engrène avec la roue B, l'arbre b tourne dans un sens, et quand elle engrène avec la roue C, l'arbre b tourne en sens contraire.

On emploie, pour cingler la loupe, dans les forges anglaises, le marteau frontal représenté figure 20.

La bague A, en fonte massive, est montée sur un arbre recevant son mouvement d'une machine à vapeur. Elle est munie de cames au moyen desquelles elle soulève le marteau B de 30 à 40 centimètres (11 pouces à 1 pied 2 pouces), suivant la disposition, et le laisse retomber sur la *loupe* à cingler, préalablement placée sur l'enclume C.

Suivant l'importance de la pièce à forger, le poids et la levée du marteau varient ainsi que la force motrice nécessaire pour le mettre en mouvement.

Théorie du marteau.

Soient : M la masse du marteau;
m la masse de la bague;
v la vitesse, à la circonférence, de la bague avant le contact;
u la vitesse de la bague pendant le contact.

On a, pour expression de la force vive de la bague avant le contact, mv^2.

On a de même, pendant le contact, pour la bague et le marteau, $(M + m)\, u^2$.

La perte de force vive par le choc est :

$$mv^2 - (M + m)\, u^2.$$

Nous avons dit (*page* 168, *tome* 1[er]) que l'on avait pour expression de la vitesse après le choc de deux corps élastiques :

$$u = \frac{mv \pm m'v'}{m + m'}$$

$m' = M$, v' vitesse du marteau avant le choc est égal à zéro, et on a :

$$u = \frac{mv}{M + m}$$

Si φ représente la perte de force vive pendant le choc, on a :

$$\varphi = mv^2 - (M+m)u^2 = mv^2 - (M+m)\frac{m^2v^2}{(M+m)^2}$$

$$= mv^2 - \frac{m^2v^2}{M+m} = \frac{Mmv^2}{M+m}$$

valeur positive et démontrant qu'il y a toujours perte de force par le choc.

Soient : r le rayon de la bague au point de contact ;
n le nombre de tours de la bague par minute ;
υ la vitesse moyenne ;

on a :
$$\upsilon = \frac{2\pi rn}{60}$$

Admettons que l'on a, d'autre part, ce qui n'est pas rigoureux,

$$\upsilon = \frac{v+u}{2}$$

on en tire :

$$2\upsilon = v + u = v + \frac{mv}{M+m} = \frac{2mv + Mv}{M+m}$$

$$= \frac{v(2m+M)}{M+m}$$

et :
$$v = \frac{2\upsilon(M+m)}{2m+M}$$

Remplaçant v par cette valeur dans l'expression de φ, il vient :

$$\varphi = \frac{Mm}{M+m} \times \frac{4\upsilon^2(M+m)^2}{(2m+M)^2}$$

$$= \frac{Mm}{(2m+M)^2} \times 4\upsilon^2(M+m)$$

M, m, υ sont toutes quantités connues; il est donc facile de déterminer φ.

On emploie encore, pour la transformation du mouvement

circulaire continu en circulaire alternatif, la manivelle, la bielle et le balancier.

Enfin, on emploie, en horlogerie, la disposition représentée *fig.* 21.

A est une roue douée d'un mouvement circulaire continu; B D est un pendule doué d'un mouvement circulaire alternatif autour du centre D, et muni d'une fourche CC', dont les extrémités engrènent alternativement dans les dents de la roue A, où elles reçoivent une impulsion suffisante pour vaincre la résistance qu'oppose l'air et le frottement de l'axe D au mouvement du pendule.

ARTICLE IV.

TRANSFORMATION DU MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF.

§ 1er. — MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF EN RECTILIGNE CONTINU.

Cette transformation s'opère au moyen de la disposition représentée *fig.* 22.

A A est une plate-forme surmontée d'une crémaillère dans laquelle accrochent alternativement les deux barres à crochet B B que met en mouvement le levier C, mu à la main, et doué d'un mouvement circulaire alternatif autour de l'axe *a*.

§ 2. — MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF EN RECTILIGNE ALTERNATIF.

On emploie, pour cette transformation, la disposition représentée *fig.* 23.

A est une portion d'engrenage douée d'un mouvement circulaire alternatif, et B est une crémaillère engrenant avec cette roue; cette disposition était autrefois employée dans les machines à vapeur pour mouvoir les tiroirs et soupapes.

§ 3. — MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF EN CIRCULAIRE CONTINU.

On emploie pour cette transformation la disposition représentée *fig.* 24.

A est une roue d'engrenage montée sur le même arbre qu'un tambour portant une corde enroulée, à l'extrémité de laquelle est un poids Q.

B est un levier analogue à celui de la figure 22, et muni de deux barres à crochet qui agissent alternativement sur la circonférence de la roue A, et la font tourner. Cette disposition peut, comme on le voit, être aussi employée pour la transfor-

mation en mouvement rectiligne continu, car le poids Q monte verticalement.

§ 4. — MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF EN CIRCULAIRE ALTERNATIF.

Cette transformation s'opère au moyen de la disposition représentée *fig.* 25.

A B est un levier doué d'un mouvement circulaire alternatif autour du centre *a*. En B est une portion de roue d'engrenage communiquant avec un pignon C, monté sur un arbre portant le volant D.

On emploie cette disposition pour opérer des pressions instantanées comme dans les machines à estamper.

CHAPITRE III.

COMPOSITION DES PIÈCES GÉNÉRALES DES MACHINES.

Si nous résumons ici la série des pièces générales dont nous avons fait mention dans les chapitres I et II de ce livre, nous trouvons qu'elle comprend :

1° Les arbres, axes et tourillons;
2° Les chapes, coussinets et clavettes;
3° Les boulons et écrous;
4° Les chapeaux de stuffing-box.
5° Les douilles droites ou à charnières;
6° Les manchons;
7° Les supports, chaises et crapaudines;
8° Les manivelles et leurs boutons;
9° Les bielles et leurs chapes;
10° Les balanciers et les leviers;
11° Les pistons et leurs tiges;
12° Les galets et les glissoirs;
13° Les poulies plates et à gorge;
14° Les parallélogrammes;
15° Les roues, les pignons et les crémaillères;
16° Les excentriques.

Nous allons définir succinctement les principales fonctions de ces pièces et les formes qui en découlent, renvoyant, pour les détails de construction, à notre *Manuel du Constructeur de machines locomotives*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*.

§ 1er. — ARBRES, AXES ET TOURILLONS.

Un *arbre*, en général, est un cylindre à section circulaire,

tournant sur lui-même dans un support, y étant doué d'un mouvement soit continu, soit alternatif, et servant à transmettre ce mouvement d'une pièce à une autre située sur sa longueur.

Un *axe*, au contraire, est un cylindre d'une petite longueur, fixé dans une pièce et servant à supporter cette pièce, qui tourne avec lui, ou à en supporter d'autres qui tournent autour de lui.

Un *tourillon* est la portion de l'arbre ou de l'axe où a lieu l'assemblage de la pièce dans laquelle s'effectue le mouvement.

Les arbres et axes n'ayant besoin d'être ronds qu'à l'endroit des tourillons, l'autre portion, dite *corps*, peut être à section polygonale quelconque.

B (*Pl.* X, *fig.* 43) est un arbre ayant pour tourillons A A'.

b (*Pl.* XI, *fig.* 21) est un axe supportant un balancier, et oscillant dans deux supports placés à chaque extrémité.

Les arbres sont en fonte ou en fer; les axes sont le plus souvent en fer.

Dimensions proportionnelles. La longueur des tourillons des arbres et axes varie entre 1.2 et 1.5 fois leur diamètre; 1.2 est le nombre le plus convenable.

§ 2. — CHAPES, COUSSINETS ET CLAVETTES.

Les *coussinets* de chapes *a* et *a'* (*Pl.* XIII, *fig.* 1, 2, 3, 4 et 5) sont des pièces en bronze, destinées à recevoir les tourillons des axes, et à suppléer constamment à l'usure provenant du frottement qui a lieu pendant le mouvement.

Les *chapes* *b* sont des pièces en fer plat, destinées à relier les coussinets aux pièces mobiles qui tournent autour des axes.

Les *clavettes* *c* sont des pièces en fer plat, destinées à maintenir les chapes sur les pièces mobiles tournant autour des axes, et les coussinets toujours serrés contre leur axe.

Les coussinets sont garnis de joues qui les empêchent de sortir de la chape dans laquelle ils sont enchâssés. Ils possèdent, entre eux, un petit écartement ménagé pour le serrage, au fur et à mesure qu'ils s'usent. Afin qu'ils ne puissent pas rester fixes dans la chape, pendant la rotation de la pièce mobile, ce que leur frottement sur l'axe tend à occasioner, on leur donne pour section extérieure une figure d'autant plus rapprochée du quarré, que cette tendance à rester fixes se manifeste plus; ainsi, dans les chapes de bielles de locomotives, on en est arrivé à faire les deux coussinets à section quarrée, tandis que, dans la plupart des cas, on les fait en ogive, ou

à huit pans, pour celui du haut, celui du bas étant quarré, pour porter sur la pièce d'assemblage et de serrage.

Les clavettes sont inclinées sur leur face de contact, de manière à faire *coin* pour le serrage; on distingue :

La clavette,

La contre-clavette.

La clavette sert à opérer le serrage des coussinets; la contre-clavette sert à maintenir l'écartement des extrémités de la chape, et est munie à cet effet de deux ressauts extérieurs.

La chape est augmentée d'épaisseur à la tête et à l'endroit des clavettes; à la tête, parce que c'est le point où on courbe le fer sous un angle assez aigu; et aux clavettes, parce qu'il faut que la section du fer, à l'endroit des trous de clavette, soit égale à celle des autres endroits.

Dimensions proportionnelles. La figure 1 donne les dimensions proportionnelles d'une chape munie de ses coussinets et clavettes, le diamètre du tourillon étant pris pour unité et compris entre 25 et 100 millimètres (11 lig. et 3 pouc. 8 lign.) inclusivement. Au-dessous de ces dimensions, certaines parties demandent à être renforcées; au-dessus, au contraire, ces parties demandent à être diminuées.

§ 3. — BOULONS ET ÉCROUS.

Les *boulons* et *écrous* sont des pièces destinées à opérer l'assemblage à joints superposés des pièces à faces planes.

Dans un boulon on distingue : la *tête*, le *corps* et le *filet*.

La tête est tantôt quarrée, tantôt hexagonale, tantôt ronde, suivant la position où il doit figurer. Le corps est toujours rond, et a pour diamètre le diamètre extérieur du filet de vis qui le termine.

On distingue deux espèces d'écrous, savoir :

Les écrous quarrés,

Les écrous à six pans.

Les écrous quarrés s'emploient rarement dans les assemblages soignés; généralement ils ne figurent que dans les parties cachées des machines.

Les écrous à six pans sont *simples*, *façonnés* ou *à chapeau*.

Les figures 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37, *Pl.* XII, représentent une série d'écrous et un boulon.

Dimensions proportionnelles. Quelle que soit la forme de la tête et de l'écrou, leur épaisseur ne dépasse jamais la dimension du diamètre du boulon auquel ils appartiennent. Les

écrous et têtes quarrées ont pour côté une fois et demie ce diamètre; les écrous et têtes à six pans ont, pour rayon du cercle inscrit, deux fois ce diamètre.

Le pas du filet varie entre le sixième et le dixième, en moyenne le huitième, du diamètre du boulon; plus ce diamètre est gros, plus le pas est petit.

§ 4. — CHAPEAUX DE STUFFING-BOX, OU PRESSE-ÉTOUPES.

Les chapeaux de stuffing-box sont des appareils destinés à comprimer les étoupes que l'on place dans les stuffing-box pour empêcher la communication directe entre deux milieux séparés par une cloison que traverse une tige mobile. Les figures 29 et 30, *Pl.* XII, représentent un chapeau de ce genre. Ils sont généralement en bronze pour de petits diamètres, et en fonte pour des diamètres dépassant 80 millimètres (3 pouces); ils s'assemblent avec le stuffing-box, soit à vis, comme dans les pompes, soit à boulons, comme dans les cylindres à vapeur.

Dimensions proportionnelles. Il n'existe pas de dimensions proportionnelles entre les différentes parties de ces pièces; nous renvoyons à notre *Manuel du Constructeur de machines locomotives*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*, pour les dimensions de toutes les parties, suivant le diamètre intérieur.

§ 5. — DOUILLES.

Les douilles (*Pl.* XIII, *fig.* 14 et 15) sont des pièces destinées à assembler deux tiges bout à bout. Lorsque ces deux tiges se meuvent rigoureusement en ligne droite, l'une d'elles est soudée à l'extrémité de la douille, et fait corps avec elle (*Pl.* X, *fig.* 70). Lorsqu'au contraire, l'une des tiges est douée d'un mouvement circulaire alternatif autour du point de contact des tiges, alors la douille se fait à charnière (*Pl.* XIII, *fig.* 14 et 15), et s'assemble avec une fourchette double (*Pl.* XIII, *fig.* 16 et 17) qui termine l'une des deux tiges.

Dimensions proportionnelles. Voir la figure dans laquelle le diamètre intérieur est pris pour unité. Ces dimensions proportionnelles peuvent servir entre 10 et 120 millimètres (5 lignes et 4 pouces 5 lignes).

§ 6. — MANCHONS.

Les manchons sont des appareils destinés à relier deux arbres situés sur le prolongement l'un de l'autre.

On distingue deux espèces de manchons:

Les manchons fixes,
Les manchons à embrayage,

Les premiers sont à demeure sur les arbres; les seconds sont mobiles en totalité ou en partie, et servent à interrompre et rétablir à volonté la communication entre deux arbres.

C (*Pl.* X, *fig.* 43, 44 et 45) est un manchon fixe, de deux pièces, pour arbres ronds. On les construit aussi d'une seule pièce, et ce sont les meilleurs; généralement ils ont pour section intérieure la section extérieure des arbres qu'ils relient.

Dans le cas où ils sont doubles (*fig.* 43), on a soin de terminer l'un des arbres par un petit axe *d*, entrant dans l'autre, afin que, si le manchon vient à se desserrer, l'arbre non supporté ne tombe pas.

c (*Pl.* XII, *fig.* 26) est un manchon d'embrayage dont nous parlerons plus loin.

Les manchons sont généralement en fonte; quelquefois, cependant, on les fait en fer forgé pour des arbres en ce métal d'un très-petit diamètre.

§ 7. — SUPPORTS, PALIERS, CHAISES ET CRAPAUDINES.

On nomme *supports*, les appuis des pièces mobiles des machines.

Nous avons donné (page 56) la définition des paliers, chaises et crapaudines; il ne nous reste plus maintenant qu'à en étudier les fonctions.

Le palier (*Pl.* XII, *fig.* 27 et 28) se compose de trois parties, savoir : Le chapeau,
Le corps,
Le patin.

Le patin sert à fixer le palier sur la pièce à laquelle il s'assemble, au moyen de deux boulons placés dans les trous *a a'*. Le corps supporte l'arbre dans un coussinet surmonté d'un autre coussinet semblable, maintenu en place par le chapeau qui s'assemble avec le corps au moyen de deux boulons.

Une des précautions les plus indispensables à prendre, quand on construit un support, c'est de faire pénétrer le chapeau, avec son coussinet, dans le corps, afin d'éviter le mouvement qu'il tend à prendre sitôt que le centre de l'arbre qu'il supporte est un peu dérangé.

Les boulons d'assemblage du chapeau avec le corps sont à tête noyée ou à clavette. Pour les petits paliers, la tête noyée ne présente pas beaucoup d'inconvénients, parce que la manœuvre en est facile; mais, pour les grands, elle est tout-à-fait mauvaise, parce qu'il n'est pas rare de voir les boulons se casser

pendant le serrage des écrous, et alors il devient très-difficile de les remplacer par d'autres; tandis qu'avec des clavettes rien n'est plus simple.

Les coussinets des supports peuvent conserver les mêmes formes et dimensions proportionnelles que ceux des chapes de bielles, tant que le diamètre intérieur ne dépasse pas 10 centimètres (4 pouces). Au-delà, il faut diminuer les épaisseurs, et souvent remplacer la section en ogive par un octogone à peu près régulier.

Dimensions proportionnelles. Les figures 27 et 28 donnent les dimensions proportionnelles que l'on peut adopter dans les supports dont le diamètre ne dépasse pas 10 centimètres (4 pouces).

Les chaises (*Pl.* X, *fig.* 50), destinées le plus généralement à supporter des arbres de peu de poids, sont des pièces qu'il faut construire très-légères, et d'un aspect d'autant plus agréable qu'elles sont toujours en vue.

La principale particularité des chaises consiste dans la manière dont le chapeau s'assemble avec le corps. Cet assemblage est représenté sur une échelle plus grande dans la figure 51. *a* est une clavette à section parallélogrammique et pyramidale, portant à la fois dans le corps de l'arbre et le chapeau, de manière que ce dernier descende verticalement quand on la chasse. Le chapeau, ainsi maintenu serré contre son coussinet, empêche l'arbre de se soulever, et est forcé en même temps par l'arbre de rester en place.

Les crapaudines (*Pl.* X, *fig.* 52 et 53) se composent de trois parties principales, savoir :

Le patin,
La boîte,
Le culot.

La boîte A est encastrée dans le patin, qui la maintient en place au moyen de deux coins B et de quatre vis D. Par les coins, on la fait monter ou descendre à volonté, et par les vis on la manœuvre dans le plan horizontal.

Le *culot* ou grain *c*, qui reçoit tout le poids de l'arbre, se fait en acier trempé, ainsi que le tourillon qui porte dessus.

La boîte est en bronze, et d'un diamètre égal à celui du tourillon.

Une des dispositions les meilleures pour faire usage des crapaudines, et les faire servir longtemps, c'est de faire passer l'arbre qu'elles supportent dans un palier ordinaire, mis

dans le voisinage et empêchant toute pression contre les parois de la boîte; alors les vis deviennent inutiles, et il n'y a que le culot qui fatigue.

§ 8. — MANIVELLES.

Les manivelles (*Pl.* XIII, *fig.* 18 et 19) sont tantôt en fonte, tantôt en fer forgé. Pour les machines de terre, elles sont le plus souvent en fonte; pour bateaux, au contraire, elles sont presque toutes en fer forgé. Dans les locomotives, les manivelles font partie de l'essieu moteur, dit *essieu coudé;* cet essieu est toujours en fer forgé.

On considère dans la manivelle trois parties, savoir :

La tête,
Le corps,
Le moyeu.

La tête est la partie avec laquelle s'assemble le *bouton* en fer forgé *a*.

Le corps est la partie comprise entre la tête et le moyeu.

Le moyeu est la partie avec laquelle s'assemble l'arbre.

Dimensions proportionnelles. Quand les manivelles sont en fonte, on donne à la tête un diamètre égal à trois fois celui du bouton, et une hauteur égale à deux fois ce diamètre.

Le moyeu a pour diamètre 1.6 fois celui de l'arbre qui entre dedans, et pour hauteur 1.2 fois ce même diamètre.

Le corps, qui se compose d'une plaque et d'une nervure forte perpendiculaires entre elles, a pour épaisseur, à la plaque, un quart de l'épaisseur du moyeu; c'est-à-dire, 0.3 du diamètre de l'arbre. Les lignes, limites de cette partie, se déterminent comme l'indique la figure.

Quant au rapport entre le diamètre de l'arbre et celui du bouton, il n'en existe pas de bien tranché; nous renvoyons, pour ce sujet, au tableau placé dans l'Atlas de notre *Manuel du Constructeur de locomotives* et donnant les diamètres des arbres et boutons de manivelles pour différentes forces de machines en chevaux.

Quand les manivelles sont en fer, leurs dimensions varient suivant la nature du métal de l'arbre. Si l'arbre est en fer, on peut conserver les mêmes relations au moyeu que pour arbre et manivelle en fonte; s'il est en fonte, au contraire, les dimensions de la manivelle doivent être déterminées; car alors le diamètre de l'arbre est plus grand, bien que la force à vaincre soit toujours la même.

§ 9. — BIELLES.

Les bielles (*Pl.* XIII, *fig.* 27 et 28) sont des pièces destinées à transformer un mouvement alternatif, soit rectiligne, soit circulaire, en un mouvement circulaire continu; par ce motif, la bielle est le compagnon indispensable de la manivelle; partout où il y a l'une, il y a aussi l'autre.

On distingue deux espèces de bielles :

Les bielles à tête et fourchette,
Les bielles à deux têtes.

Les premières, qui sont exclusivement employées quand on transmet le mouvement à la manivelle par l'intermédiaire du balancier et de la bielle, sont semblables à celles de la figure. La fourchette se termine par deux chapes munies de leurs coussinets et prenant les deux extrémités d'un des tourillons extrêmes du balancier.

Les bielles sont en fonte, fer ou bois; dans les trois cas elles se terminent toujours par des têtes et fourchettes métalliques.

Dans les locomotives on emploie des bielles en fer à deux têtes.

Quand on veut que la bielle ait peu de poids, on la construit en fer de la manière suivante :

On prend six ou huit barres de fer rond, de même diamètre, que l'on réunit en faisceau autour d'une barre de fer rond de diamètre plus fort et munie d'anneaux pleins en fer, distancés suffisamment les uns des autres. Ces anneaux, percés de trous pour recevoir les barres formant faisceau, sont de diamètres différents, de manière que les barres égales étant en place, forment une surface extérieure bombée vers le milieu, dans le même genre que la nervure de la bielle représentée dans la figure 27. On soude alors les extrémités, de manière à ne former que deux bouts, d'un seul morceau chacun; puis, quand cela est fait, on rapporte deux têtes, soit à fourchette, soit simples, que l'on soude également à ces extrémités.

Les bielles étant des pièces successivement soumises à la traction et à la pression, il est bon, quelle que soit la matière employée à les confectionner, de les munir d'un renflement au milieu. Quand elles sont en fer, on les fait à sections rondes et croissantes, depuis les têtes jusqu'au milieu; quand elles sont en fonte, on les fait cylindriques, d'un bout à l'autre, et on les munit de nervures convexes, comme l'indique la figure 27.

Un des principaux inconvénients des bielles, c'est d'exiger une régularité parfaite dans le montage du balancier et surtout de la manivelle. Si l'une de ces deux pièces ne se meut pas rigoureusement dans le plan du mouvement, il se produit dans la bielle une torsion qui réagit sur les coussinets et les détruit promptement.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Edwards, de Chaillot, a imaginé la tête de bielle représentée *Pl.* XIII, *fig.* 29, 30, 31, 32 et 33. Elle est indépendante du corps et permet à ce dernier de tourner, sans qu'il y ait torsion, ni, par conséquent, réaction sur les coussinets. Pour quelques-unes de ses bielles, M. Edwards a poussé la précaution jusqu'à remplacer le bouton cylindrique de la manivelle par un bouton sphérique, qui a l'avantage de permettre à la manivelle de tourner dans un plan tout autre que celui du mouvement, sans que la bielle en soit le moins du monde affectée.

Ce mode d'exécution de la bielle est fort bon ; seulement il coûte fort cher et n'est pas aussi solide que la bielle d'un seul morceau. Autrefois, quand les diverses parties des machines à vapeur étaient posées sur de la maçonnerie, quelque bien que fût fait le montage, le tassement amenait toujours du dérangement dans les mouvements relatifs de la manivelle et du balancier. Aujourd'hui, il n'en est plus que rarement ainsi, et on fait son possible pour que toutes les parties soient reliées entre elles et solidaires les unes des autres ; alors le tassement des masses n'étant plus à craindre, si la machine est bien montée, elle reste dans cet état jusqu'à ce qu'on la dérange volontairement ; mais il faut qu'elle soit bien montée, et cela s'obtient facilement, si l'on n'emploie que de bons ouvriers pour cette opération.

§ 10. — BALANCIERS ET LEVIERS.

Le balancier (*Pl.* XIII, *fig.* 20) et le levier (*Pl.* XIV, *fig.* 11 et 12) sont des pièces destinées à transmettre un mouvement alternatif, soit rectiligne, soit circulaire, étant doués eux-mêmes, quel que soit le cas, d'un mouvement circulaire alternatif.

Les balanciers sont spécialement employés pour de grandes forces à transmettre ; les leviers s'emploient pour communiquer le mouvement à des pièces qui n'exigent que peu de force.

Les balanciers sont généralement en fonte, et les leviers généralement en fer. Les balanciers sont à bras de levier double, les leviers sont à bras de levier simple ou double.

Dans les machines à vapeur, le balancier est muni de plusieurs axes parallèles les uns aux autres. Autrefois qu'on n'avait pas d'appareils convenables pour aléser ce genre de pièces, il arrivait fort souvent que les trous des axes n'étant pas parallèles, ces derniers ne l'étaient pas non plus, et il en résultait une détérioration des coussinets pendant la marche de la machine. Pour remédier à cet inconvénient, on construisait des balanciers à boules de différents systèmes; les figures 21, 22, 23, 24, 25 et 26, *Pl.* XIII, représentent celui que M. Edwards, de Chaillot, adaptait à sa bielle. Aujourd'hui, on a des alésoirs à chariot qui permettent d'aléser un nombre quelconque de trous parallèles avec une exactitude mathématique. Il en résulte que, si la bielle n'est pas exposée à changer de mouvement, par suite du tassement des maçonneries, la boule n'est pas nécessaire.

La figure 20 indique les dimensions proportionnelles des différentes parties du balancier; quant aux épaisseurs, nous renvoyons au tableau placé dans l'Atlas de notre *Manuel du Constructeur de locomotives*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*.

Les figures 11 et 12 indiquent également les dimensions proportionnelles des différentes parties d'un levier en fonction des diamètres des trous. Quant au rapport qui doit exister entre les diamètres des trous, on peut le déterminer de la manière suivante :

On a, pour déterminer le diamètre de l'arbre :

$$D^3 = 2.3 \frac{A}{n} \frac{9}{14}$$

A étant la quantité de travail transmis dans un temps donné, et n le nombre de tours dans le même temps.

Soient l la longueur du levier, de centre en centre, et Q le poids suspendu à l'extrémité, on a :

$$Q \times 2\pi l \times n = A$$

On a, pour déterminer le diamètre du tourillon :

$$d = 3.2 \left({}^9/_{14}\, Q\right)^{1/3}$$

d'où : $$d^3 = 32.8 \times {}^9/_{14}\, Q$$

et : $$Q = \frac{14\, d^3}{32.8 \times 9}$$

On a aussi : $$Q = \frac{A}{2\pi l n}$$

On en déduit : $$\frac{A}{2\pi l n} = \frac{14 d^3}{32.8 \times 9}$$

et : $$A = \frac{2\pi l n \times 14 d^3}{32.8 \times 9}$$

d'où : $$D^3 = 2.3 \frac{2\pi l \times 14 d^3}{32.8 \times 9} \times \frac{9}{14}$$
$$= 0.44\, l d^3$$

et : $$D = 0.76\, d \sqrt[3]{l}$$

D, *d* et *l* exprimés en centimètres.

Pour des valeurs données à deux des trois quantités D, *d*, *l*, on obtient des valeurs correspondantes pour la troisième. Nous donnons ci-dessous un tableau des valeurs relatives de D et *d* pour différentes valeurs de *l*.

Tableau des diamètres et longueurs des leviers correspondants.

LONGUEURS.	DIAMÈTRES.	
l	*d*	D
5 centimètres.	1	1.5
10	1	1.8
15	1	1.9
20	1	2.1
25	1	2.22
30	1	2.36
35	1	2.50
40	1	2.60
45	1	2.70
50	1	2.80
60	1	3.00
70	1	3.14
80	1	3.30
90	1	3.40
100	1	3.54

§ 11. — PISTONS ET TIGES.

Les pistons sont des obturateurs mobiles dans un cylindre

ou un prisme, munis d'une tige dont ils reçoivent le mouvement qu'ils communiquent au fluide renfermé dans la même capacité, ou à laquelle ils communiquent, au contraire, le mouvement qu'ils ont reçu de ce fluide.

Il existe trois espèces principales de pistons :

Les pistons à eau,
Les pistons à vapeur,
Les pistons à air.

Dans les trois cas, on considère deux parties principales dans un piston, savoir :

Le corps,
La garniture.

Le corps du piston est l'obturateur, proprement dit, mu par la tige.

La garniture est destinée à rendre hermétique ou étanche, la portion du piston en contact avec le cylindre ou prisme dans lequel il se meut.

Le corps varie de forme et de construction, suivant le mode d'action du piston.

La garniture varie de composition, suivant la nature du fluide avec lequel le piston est en contact.

1° *Pistons à eau.*

Les pistons à eau sont pleins ou à clapets.

Pistons pleins. — Ce sont ceux que l'on emploie dans les pompes aspirantes et foulantes, pour l'alimentation des chaudières à vapeur, ainsi que dans les machines à colonne d'eau.

Dans le premier cas, ils fonctionnent tantôt dans l'eau chaude et tantôt dans l'eau froide; les figures 34 et 35, *Pl.* XIII, représentent un piston de ce genre, destiné à se mouvoir dans une boîte à étoupes. Le plus souvent, on se contente de faire le piston d'un seul morceau avec sa tige (*Pl.* XIV, *fig.* 1), le reliant à la tige motrice au moyen d'une douille ordinaire.

Lorsque le diamètre du corps de pompe est grand, comme dans les machines à colonne d'eau, au lieu de faire mouvoir le piston dans une boîte à étoupe, on le munit d'une garniture de chanvre (*Pl.* XIV, *fig.* 2 et 3), et on alése le cylindre.

Pistons à clapets. — Les pistons à clapets sont spécialement employés dans les pompes aspirantes et élévatoires.

Lorsqu'ils fonctionnent dans l'eau froide, on leur donne l'une des formes représentées dans les figures 6, 7, 8, 9, 10, 11,

12, 13 et 14, parmi lesquelles les figures 11 et 12 seules sont à garniture de chanvre, toutes les autres ayant la garniture en cuir.

Lorsqu'ils fonctionnent dans l'eau chaude, on peut employer, pour un petit corps de pompe, le piston des figures 11 et 12 dont le clapet est métallique et assemblé à charnière avec le corps. Dans les pompes à air de machines à vapeur, on emploie généralement le piston représenté dans les figures 15 et 16, ou celui représenté dans les figures 17 et 18.

2° *Pistons à vapeur.*

Pendant longtemps, lorsque les machines à basse pression étaient presque exclusivement employées, les pistons à vapeur étaient à garniture de chanvre (*fig.* 19 et 20).

Plus tard, le chanvre présentant l'inconvénient de s'accrocher après les soufflures des cylindres, on adopta le piston, à garniture de chanvre, recouverte de deux cercles en fonte, représenté dans les figures 21 et 22. Cette disposition très-avantageuse, dispensant le chanvre de frotter constamment sur la surface du cylindre, s'appliqua fort utilement aux machines à haute pression ; les figures 21 et 22 ne sont même autre chose que le piston dont M. Stephenson faisait usage dans ses locomotives.

Bien que les ressorts aient l'inconvénient de se détendre dans la vapeur, ce qui leur a fait, pendant un temps, préférer le chanvre, comme dans les pistons précédents, il paraît néanmoins que décidément les ressorts sont ce qu'il y a de mieux pour faire une bonne garniture, et aujourd'hui on les emploie presque exclusivement partout. Les figures 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 et 30 représentent les différentes dispositions de pistons à ressort qui ont été et sont encore employées par les constructeurs. Une des meilleures est celle des figures 27 et 28, mais ce n'est pas la plus économique.

3° *Pistons à air.*

Les pistons à air sont généralement destinés à souffler de l'air froid. On les construit tantôt à garniture de chanvre, comme dans les figures 2 et 3; tantôt, et c'est le plus souvent, à garniture en cuir (*fig.* 33 et 34). Dans ce dernier cas, le piston est aussi léger que possible; le cuir est tenu en place par des segments en bois rapportés et serrés par des boulons emmanchés à baïonnette avec le corps du piston, et munis d'écrous de part et d'autre, afin que si l'un des écrous

vient à se desserrer, l'autre puisse toujours serrer la portion de garniture qu'il tient en place.

§ 12. — GALETS ET GLISSOIRS.

Les galets et glissoirs sont les pièces de communication entre les parties mobiles et les parties fixes, en tant que les pièces mobiles ne tournent point autour d'un axe, auquel cas on emploie les supports.

Les figures 39 et 40, 41 et 42, *Pl.* X, donnent un exemple de l'application des galets à la direction d'une tige de piston à vapeur douée d'un mouvement rectiligne alternatif. Les galets sont, dans ce cas, de petites roues en fonte, tantôt pleines, tantôt évidées intérieurement, et roulant entre deux règles en bois, maintenues parallèles par un bâti en fonte construit à cet effet.

Dans beaucoup de machines, on a substitué, depuis quelques années, les glissoirs aux galets, par la raison que ces derniers n'ont pas la faculté de rouler aussi facilement qu'on pourrait le croire au premier abord. En effet, s'il n'existe pas un jeu entre les guides et le galet, ce dernier, ayant autant d'adhérence d'un côté que de l'autre, glisse au lieu de tourner; il en résulte que, comme du jeu dans le mouvement d'un galet peut occasioner des chocs, on préfère employer des glissoirs dont le frottement augmente de bien peu le travail du moteur.

Les figures 35, 36, 37 et 38, *Pl.* XIV, représentent les glissoirs et guides de glissoirs employés le plus généralement dans les locomotives. Les glissoirs sont en acier et fonctionnent entre deux lames d'acier maintenues en place par des cornières en cuivre jaune ou en fer fixées aux entre-toises.

§ 13. — POULIES.

Les poulies sont des cylindres mobiles sur leur axe et destinés à transmettre l'action d'un moteur soit à un arbre, par l'intermédiaire d'une courroie, soit à un poids suspendu à l'extrémité d'une corde enroulée sur cette poulie.

On distingue deux espèces de poulies :

Les poulies plates,

Les poulies à gorge.

Les poulies plates sont pour les courroies; les poulies à gorge pour les cordes, et aussi pour les courroies.

L'action des poulies à courroies n'est pas la même que celle

des secondes. Les poulies à cordes sont généralement destinées à opérer des tractions dans des directions différentes, et n'ont par conséquent à résister qu'à la composante des deux tractions opposées, laquelle passe toujours par le centre de rotation (*Statique*, page 136, tome Ier).

Les poulies à courroies, au contraire, ont non-seulement à résister à la composante des tractions qu'opèrent sur elles les deux extrémités de la courroie qui les embrasse, mais encore à la torsion que tend à produire la charge supportée par l'arbre qu'elles mettent en mouvement. Il est donc important de donner de la force aux bras des poulies plates, dans le plan de la rotation, beaucoup plus que pour les poulies à gorge.

La figure 16, *Pl.* XII, représente une poulie plate pour courroies. Sa surface extérieure est légèrement bombée, afin que la courroie ne passe pas indifféremment d'un côté de la poulie à l'autre et reste sur le milieu.

Les figures 44 et 45, *Pl.* XIV, représentent une poulie à gorge pour cordes, telle qu'on les emploie dans les mines pour l'extraction de la houille.

§ 14. — PARALLÉLOGRAMMES.

Les parallélogrammes sont, comme nous l'avons vu dans les transformations de mouvement, des appareils destinés à transformer un mouvement rectiligne alternatif en circulaire alternatif.

Ils se composent des pièces suivantes, savoir :

Deux grandes chapes,
Deux chapes de pompe à air,
Deux guides,
Deux contre-guides,
Une lunette,
Deux axes.

La figure 21, *Pl.* XI, représente un parallélogramme assemblé.

Les grandes chapes (*Pl.* XIII, *fig.* 3) sont de construction analogue à celle des têtes de bielles; elles conservent les mêmes proportions, seulement elles sont plus longues.

Les chapes de pompe à air (*Pl.* XIII, *fig.* 4 et 5) conservent les mêmes proportions que les chapes de têtes de bielles, mais elles en diffèrent par la forme. Ces chapes se terminent inférieurement par une queue, dont les proportions sont celles des leviers.

FORCES EN CHEVAUX.	GRANDES CHAPPES.			[illegible]UNETTE.		[illegible]X.	[illegible]
	FONTE.	FER.	CUIVRE	[illegible]R.	CUIVRE	FE.	[illegible]
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		
1	0.800	1.15	0.65	[illegible].80	0.053	15[illegible]	
2	1.500	1.90	0.95	[illegible].36	0.085	20[illegible]	
4	2.000	2.95	1.40	[illegible].30	0.136	2.[illegible]	
6	2.800	4.50	2.00				

Les guides (*Pl.* XIII, *fig.* 7 et 8) et les contre-guides (*fig.* 9 et 10) sont des bielles à tête fermée. Elles présentent sur les autres l'avantage de se construire plus économiquement, mais elles sont plus difficiles à monter et à démonter.

La lunette dont le trou intérieur est destiné au passage de la tige de la pompe à air, n'est, à proprement parler, qu'un axe destiné, comme les deux autres, à relier les extrémités des chapes opposées ; elle est, en outre, munie de deux plats dans lesquels sont des trous recevant les extrémités des guides, taraudés avec embase en haut, de manière à maintenir la lunette entre cette embase et un écrou.

Le tableau ci-contre donne les poids et prix de vente des parallélogrammes pour différentes forces de machines à vapeur.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

§ 15. — ROUES, PIGNONS ET CRÉMAILLÈRES.

Nous avons vu, dans la théorie des engrenages, par quel moyen on détermine les dimensions, formes et nombre des dents des roues pour un travail donné à effectuer. Il nous reste maintenant à déterminer les dimensions des jantes, bras et moyeux des roues, suivant les quantités de travail à effectuer, les vitesses et les diamètres des roues.

1° *Jantes des roues.*

L'épaisseur des jantes des roues est généralement égale à la hauteur l des dents. Quand les roues sont exposées à des chocs brusques ou à des efforts considérables et instantanés, comme dans les forges anglaises, on fait saillir la jante de chaque côté des dents que l'on y noye entre deux saillies circulaires s'élevant jusqu'à la circonférence moyenne des roues (*Pl.* XIV, *fig.* 40 et 41).

2° *Bras.*

Le nombre des bras varie entre trois et huit.

On détermine leurs dimensions de la manière suivante :

Soient P et Q (*Pl.* XIV, *fig.* 42) les forces qui se font équilibre pendant le travail de la roue, P étant tangente à la circonférence moyenne des dents, et Q à l'arbre portant la roue.

Le bras est une pièce encastrée par une extrémité ; s'il y en a n, et si r et l sont les rayons de Q et P, on a :

$$Q\,r = \frac{P\,l}{n}$$

On a, d'autre part, d'après les formules de résistance des matériaux :

$$P l = \frac{R a b^2}{6}$$

Eliminant $P l$, on obtient :

$$\frac{R a b^2}{6} = Q n r$$

On déduit de là les valeurs de a et b en fonction de Q.

Mais ces valeurs théoriques ne sont pas suffisantes, en ce que, dans les roues, il y a non-seulement à vaincre les résistances qui s'opposent à leur rotation, mais encore le retrait de la fonte pendant le refroidissement après la coulée.

Tous les calculs ne sauraient valoir ce que l'expérience a démontré pour ce dernier cas, et nous allons donner les dimensions que l'expérience a sanctionnées.

Nous dirons, en premier lieu, que la section des bras par un plan perpendiculaire à leur longueur est toujours une croix $a'b'c'd'$ (*fig.* 43), $a'b'$ étant une nervure transversale, destinée à résister au flottement pendant le travail.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

La largeur ef du bras (*fig.* 42) étant l, les largeurs $ab = {}^6/_5$ et $cd = {}^4/_5$. Quand les roues ont d'autres diamètres que 2 mètres, on détermine les dimensions des bras en posant :

1° $P l = \dfrac{R a b^2}{6}$ d'où : $b^2 = \dfrac{6 P l}{a R}$

2° . . . . $b'^2 = \dfrac{6 P l'}{a R}$

d'où : $$\frac{b^2}{b'^2} = \frac{l}{l'}$$

Connaissant b et l, on obtient b' en posant :

$$b' = \sqrt{\frac{b^2 l'}{l}} = b\sqrt{\frac{l'}{l}}$$

et comme on a : $l = 1.^{m}00$, il vient.

$$b' = b\sqrt{l'}$$

Tableau des dimensions des bras des roues, suivant l'effor exercé à la circonférence moyenne.

EFFORT tangent à la roue.	DIMENSIONS AU MILIEU DES BRAS, Le rayon de la circonférence moyenne étant de 1.m00, et le nombre des bras 6.	
	LARGEUR MOYENNE des bras.	ÉPAISSEUR TOTALE des quatre nervures.
kilogrammes.	cent. mèt.	cent. mèt.
10	4.20	1.21
40	6.00	2.00
80	8.00	3.00
158	8.50	3.90
244	9.70	4.85
336	10.67	6.30
430	11.64	6.80
580	12.12	8.25
730	13.08	8.73
870	13.80	9.70
1100	14.50	10.67
1210	15.50	11.64
1500	16.00	12.60
1750	16.50	13.68
2200	17 00	16.50
2300	17.50	16.50
2660	18.00	17.00
2840	18.50	17.95
3220	19.00	19.00
3500	19.50	19.40

§ 16. — EXCENTRIQUES.

Quelle que soit la nature du métal employé à composer cette pièce, l'excentrique n'est, à proprement parler, qu'une courbe de forme déterminée, tournant autour d'un point situé dans son intérieur et communiquant un mouvement rectiligne alternatif et varié à une tige.

On distingue :

Les excentriques circulaires,
Les excentriques triangulaires,
Les excentriques en cœur.

Les premiers (*fig.* 39), les plus employés dans les machines à vapeur, transmettent le mouvement au moyen d'un cercle en deux parties, assemblées dans une gorge creusée dans l'excentrique même.

Les excentriques triangulaires (*fig.* 46), employés pour machines à détente et à un seul tiroir, consistent en un triangle équilatéral terminé par trois arcs de cercle dont les centres sont aux sommets du triangle. Par cette disposition, si l'un des sommets *a* est au centre d'un arbre, la tige *c* reste immobile pendant tout le passage de l'arc opposé sur l'une des deux lames *e* ou *e'*.

Les excentriques en cœur (*Pl.* XII, *fig.* 2) s'emploient pour faire avancer la tige de quantités égales pour des portions de révolution égales.

Il existe une infinité de formes d'excentriques assujéties au travail qu'elles ont à effectuer. Nous n'examinerons aucune de ces formes pour lesquelles la construction est toujours la même, et qui ne présentent aucun intérêt sur leur facile détermination.

LIVRE III.

MACHINES DESTINÉES A TRANSMETTRE L'ACTION DES MOTEURS.

On distingue, quant à présent, quatre espèces principales de moteurs, savoir :

Les animaux,
Le vent,
L'eau,
La vapeur.

La force des animaux se transmet au moyen d'appareils qui, pour les hommes, sont le plus souvent des *manivelles* ou des *treuils ;* et pour les bêtes, telles que les chevaux, les ânes et les bœufs, sont des *manèges.*

La force du vent se transmet au moyen des *moulins à vent.*

La force de l'eau se transmet au moyen des *roues hydrauliques.*

La force de la vapeur se transmet au moyen des *machines à vapeur.*

Nous n'avons rien de remarquable à dire sur les manivelles et les treuils, en ayant donné la description précédemment. L'étude des machines destinées à transmettre l'action des moteurs se résume donc dans l'étude des quatre espèces de machines suivantes, savoir :

Les manèges,
Les moulins à vent,
Les roues hydrauliques,
Les machines à vapeur,

que nous allons passer en revue successivement.

TITRE PREMIER.

MANÈGES.

Les manèges (*Pl.* XV, *fig.* 1 et 2) consistent en un axe vertical A (*fig.* 1) dans lequel sont implantés un ou plusieurs leviers horizontaux F, à chacun desquels sont attelés les animaux dont on veut utiliser la force motrice. Les dimensions des manèges varient selon la forme et les dimensions des animaux qu'on veut y atteler.

Le cheval étant celui que l'on emploie de préférence pour

ce genre de transmission de force, nous n'étudierons cet appareil que pour cet animal.

Pour que le travail transmis par le cheval soit convenablement utilisé, il faut que le rayon du cercle qu'il décrit soit suffisamment grand, afin que son action ait lieu, autant que possible, tangentiellement à la circonférence moyenne qu'il décrit.

Il ne faut jamais accoupler les chevaux de front dans un manège, parce que l'un d'eux décrivant une plus petite circonférence que l'autre, ils ne travaillent pas également.

Les chevaux trapus sont préférables aux chevaux longs pour ce genre de travail.

Le rayon des manèges varie entre trois et cinq mètres, suivant la place dont on peut disposer; en moyenne, quatre mètres.

Le cheval devant décrire une circonférence, il faut, pour que la direction de son mouvement soit perpendiculaire au bras du manège, que le point d'attache et le centre de gravité du cheval soient sur la même verticale. Or, le centre de gravité du cheval se trouvant à peu près au point d'intersection des diagonales du parallélogramme construit sur les quatre pieds, il en résulte que le cheval doit se trouver au-dessous du bras, comme cela a lieu dans la figure 1.

Alors, pour atteler le cheval, on construit ce qu'on nomme une *arcade* GG, qui l'embrasse de part et d'autre, et de laquelle partent, à la hauteur des flancs, les traits qui se fixent au collier.

Si l'on observe bien la figure, on remarque que la circonférence décrite par la branche intérieure de l'arcade est plus courte que celle décrite par la branche extérieure; il en résulte que si le cheval tire perpendiculairement au plan de l'arcade, il reçoit à chaque instant un choc du bras extérieur qui le fait ainsi rentrer dans la circonférence dont il tendait à sortir. Pour éviter ce choc qui fatigue l'animal, il est bon de l'atteler dans une direction un peu inclinée à ce plan, ce qui fait perdre, il est vrai, un peu du travail produit, mais, en revanche, met l'animal en état de travailler plus longtemps.

On a imaginé, pour assurer une traction égale sur les deux bras de l'arcade, de faire cette dernière d'un seul morceau en fer courbé supérieurement, et terminé au sommet par un tourillon tournant à volonté dans un support fixé à l'extrémité du bras. Cette disposition, qui nécessite que l'on guide le che-

val par la bouche, est fort bonne, mais beaucoup plus dispendieuse que la première, sans donner des résultats beaucoup plus avantageux; de sorte que, pour nous, nous préférons l'autre.

On emploie dans les jardins de maraîchers, et dans d'autres circonstances, lorque l'on veut que le cheval tourne tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, le manége représenté figure 2, *Pl.* XV.

Dans ce cas, le point d'attache sur le bras est au niveau du plan de traction du cheval, et son mode d'action est le même que dans la charrue; seulement il arrive que pour qu'il se meuve sur la circonférence, il faut que l'angle d'inclinaison de sa direction avec le plan vertical passant par l'axe et le bras du manége, soit beaucoup plus petit que quand le point d'attache est situé sur la même verticale que le centre de gravité de l'animal, d'où suit que l'effet utile est moindre.

Pour bien utiliser le travail du cheval au manége, il faut allonger sa journée et la diviser en portions successives de *deux* heures de travail et *quatre* heures de repos. De plus, il faut que l'animal attelé marche au pas un peu relevé; le pas lent l'engourdit et le fatigue, le trot l'épuise promptement.

On a trouvé par expérience que l'effort de traction le plus convenable était 36 kilogrammes, avec une vitesse de deux mètres par seconde.

Le cheval opérant toujours une forte traction dans l'exercice du manége, il n'est pas convenable de garnir le chemin qu'il parcourt de pavé, parce que cela use trop promptement les sabots et les fers. Il est préférable de faire un empierrement mac-adamisé, qui, au bout de peu de temps, se garnit de crottin de l'animal et lui offre ainsi un sol doux et laissant prise aux fers dont le talon est muni d'une muraille haute et étroite.

Dépense.

Pour bien nourrir un cheval travaillant au manége pendant huit heures par jour, il faut :

10 kilogrammes de foin,
5 litres d'avoine,
4 kilogrammes de son contenant encore de la farine.

Dans l'artillerie, en campagne, on donne :

5 kilogrammes de foin, } pour 24 heures.
5 kilogrammes bonne paille,
8 litres d'avoine,

TITRE II.

MOULINS A VENT.

De tous les moteurs, le vent est celui dont les effets sont le plus variables, et, par cette raison, le moins susceptibles d'être prévus dans l'établissement d'appareils propres à transmettre sa puissance à des machines. Aussi n'est-ce que sur des données pratiques et propres à la localité seulement où on veut établir des moulins à vent, que l'on peut établir les dimensions qui sont le plus convenables.

Afin de nous rendre compte des différents degrés de puissance que peut avoir le vent, suivant sa force, nous allons mettre sous les yeux du lecteur le résultat des expériences de *Mariotte* et de *Coulomb* sur la vitesse du vent.

Tableau des vitesses et effets physiques correspondants des différents vents.

VITESSE par seconde.	VITESSE par heure.	EFFETS PRODUITS.
m.	m.	
0.50	1800	Vent à peine sensible.
1.00	3600	Brise légère.
2.00	7200	Vent frais ou modéré.
5.50	19280	Vent bon frais, assez fort.
10.00	36000	Vent fort, forte brise.
15.00	48000	Vent impétueux, très-fort.
20.00	72000	Rafale.
22.50	81000	Tempête.
27.00	97200	Grande tempête.
36.00	104400	Ouragan.
45.00	162000	Ouragan terrible.

L'effet du vent sur les surfaces dépend de la nature et de l'étendue de ces surfaces.

En théorie, les pressions du vent contre des surfaces planes, perpendiculaires à sa direction, sont, à vitesses égales, dans le rapport de ces surfaces. Pour une même surface, les pressions sont comme les quarrés des vitesses du vent.

En pratique, la vitesse du vent étant constante, les pressions croissent dans un plus grand rapport que les surfaces.

Quand le vent a de petites vitesses, les pressions sont entre elles seulement comme les vitesses.

Quand le vent a des vitesses moyennes, on peut faire usage des données théoriques.

Quand le vent a des vitesses sans cesse croissantes, les pressions croissent comme les quarrés, les cubes, etc., de ces vitesses.

Il résulte de la première donnée pratique qu'il y a plus d'avantage à employer une grande surface que plusieurs petites équivalentes en somme à la première.

DESCRIPTION DES MOULINS A VENT.

On a imaginé bien des espèces de moulins à vent que nous passerons en revue successivement. Quant à présent, nous allons donner la description du moulin à vent ordinaire (*Pl.* XV, *fig.* 3 et 4) qui est le plus généralement employé.

Le moulin à vent ordinaire consiste en un axe B (*fig.* 3), incliné à l'horizon d'une quantité que nous déterminerons plus loin. A l'extrémité extérieure de cet axe sont implantées une, deux, trois, etc., et même huit ailes, suivant la force du vent et le travail que l'on veut effectuer. Ces ailes, toutes situées dans un plan moyen perpendiculaire à l'axe de rotation, consistent en une membrure principale K K (*fig.* 4) dans laquelle est passée une série de petits bâtons I I analogues à des échelons et reliés entre eux, de part et d'autre, par deux lames légères L L, percées d'autant de trous que la membrure principale. Cet ensemble, qui constitue la carcasse de l'aile, est destiné à servir de soutien à des toiles que l'on passe alternativement en dessus et en dessous des échelons, et qui sont destinées à recevoir l'action du vent et la transmettre de la manière suivante : les échelons ne sont pas tous situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe de rotation ; chacun d'eux, au contraire, est situé dans un plan différent dont la position sera déterminée ultérieurement.

Il en résulte que la surface de la toile forme une surface gauche qui, quand le plan du mouvement est perpendiculaire à l'action du vent, décompose cette action en deux : l'une normale qui produit tout son effet, l'autre parallèle qui glisse sans agir.

L'action du vent sur les ailes de moulins à vent ordinaires est donc celle d'une force sur une surface oblique.

Or, si l'on remarque que quand les ailes tournent, les di-

vers échelons décrivent des circonférences d'autant plus grandes qu'ils sont plus éloignés du centre, on en déduit immédiatement que :

1° A inclinaison égale des échelons, et pression égale du vent, le travail transmis par les surfaces correspondant à chacun des échelons, est d'autant plus considérable que ces derniers sont plus éloignés du centre ; car ce travail est égal à la pression sur la surface multipliée par la vitessé.

2° A pression égale du vent, si on veut que le travail transmis par les différents échelons soit le même pour tous, il faut que leur inclinaison soit d'autant plus faible qu'ils sont plus éloignés du centre de rotation.

Mais cette seconde condition n'est pas nécessaire, car le travail total transmis est égal à la somme des quantités de travail transmis par chacun des échelons isolément, et il n'importe qu'ils en transmetteut chacun la même quantité, que pour la légèreté de l'appareil, l'effort *maximum* ayant lieu à l'extrémité des ailes.

Remarquant que l'air ambiant s'oppose au mouvement de rotation des ailes, et cela proportionnellement au quarré de la vitesse de chacun de leurs échelons, il faut, si l'on veut avoir le moins de résistance possible à vaincre de ce côté, diminuer l'angle d'inclinaison de la surface de l'aile sur le plan du mouvement, en quantité proportionnelle à l'accroissement de vitesse angulaire.

Comme en agissant ainsi on diminue d'une part la résistance au mouvement, et d'autre part la résistance du vent moteur sur les ailes, il a fallu de nombreuses expériences pour arriver à la détermination de la loi de décroissance la plus convenable pour l'inclinaison des échelons.

On a trouvé ainsi :

Si α est l'angle variable avec l'axe des éléments de l'aile parallèles aux échelons ;

α' le complément de cet angle ;

1° Lorsque l'aile est plane, si l'angle α est compris entre 45 et 55 degrés avec l'axe, l'effet utile est moindre que quand cet angle est plus considérable.

2° Si l'angle α est compris entre 72 et 75 degrés, l'effet utile est le plus grand possible.

C'est en partant de ces données que *Coulomb* et *Smeaton* ont composé le tableau suivant, dans lequel on suppose que l'aile a été divisée en *six* parties égales ; le n° 1 étant le plus près de l'axe et à une distance de ce dernier égale à deux divisions.

Tableau des inclinaisons des différentes parties d'une aile.

Nos.	DISTANCE à l'axe.	ANGLE avec l'axe.	ANGLE avec le plan du mouvement.
0	1	70°0	20°0
1	2	72.0	18.0
2	3	72.5	17.5
3	4	73.0	17.0
4	5	74.0	16.0
5	6	77.5	12.5
6	7	83.0	7.0

Il résulte des expériences de *Coulomb* sur des moulins construits d'après ces principes, que la vitesse du vent étant 1, celle des ailes, à l'extrémité, varie entre 2.7 et 3.3, le moulin travaillant avec sa plus grande charge.

Lorsqu'au contraire le moulin n'est pas fortement chargé, la vitesse à l'extrémité des ailes varie entre 4.0 et 4.2. Ces données sont utiles pour déterminer, à l'inspection d'un moulin, s'il donne le *maximum* d'effet utile possible, connaissant la vitesse du vent, d'après son action physique définie dans la table de la page 100.

Coulomb a trouvé aussi que :

1° La vitesse des ailes est proportionnelle à la vitesse du vent ;

2° Pour des ailes de 12 mètres de long sur 1.m95 de large, on ne peut travailler avec un vent dont la vitesse est moindre que 4 mètres par seconde ;

3° La vitesse de vent la plus convenable est de 6 mètres à 9 mètres par seconde.

Effet utile des Moulins.

On a trouvé que pour une surface d'ailes de 80 mètres quarrés, l'effort *maximum* transmis par des vents dont la vitesse était comprise entre 2.m50 et 6.m50, a été de huit chevaux.

Pour une vitesse du vent supérieure à 6.m50, il a fallu plier les voiles, ce qui a établi l'effort de huit chevaux, comme un *maximum*, pour la surface donnée.

On conclut de là que, pour un vent de 6.^{m}50, la surface de voile nécessaire pour produire l'effort d'un cheval est de 10 mètres quarrés. Il en résulte que pour une vitesse du vent de 4 mètres, la surface nécessaire pour produire l'effort d'un cheval est de 65 mètres quarrés, ce qui est considérable.

On conclut de ces résultats, que les moulins à vent ne sont bons qu'autant que l'on peut compter sur une vitesse de vent comprise entre 5 et 7 mètres par seconde.

Formes et proportions des Moulins à vent.

L'axe de rotation doit être incliné à l'horizon; cette inclinaison varie entre 8 et 17 degrés, suivant les localités.

Si R est le rayon des ailes, on conserve entre l'origine de la voilure et le centre de rotation une distance égale à $\frac{R}{6}$.

La longueur de la voilure est donc $\frac{5R}{6}$; sa largeur moyenne est égale à $\frac{R}{6}$ ou au cinquième de sa longueur.

La forme de l'aile est celle d'un trapèze dont les bases parallèles sont aux extrémités, la plus petite près du centre.

Les proportions de ces bases sont les suivantes :

Soient L la largeur moyenne, B la base à l'extrémité, b la base près du centre :

$$L = \frac{R}{6}$$

$$b = \frac{L}{1.25} = \frac{R}{7.5}$$

$$B = 1.5\, b = \frac{R}{5}$$

Cette disposition a l'avantage d'éloigner le centre de gravité de l'axe et de rendre la force de l'aile plus grande.

Comme la direction du vent change à chaque instant, il faut que celle de l'axe puisse aussi changer; à cet effet, on rend mobile tout le bâtiment dans lequel sont les machines

que met en mouvement la force du vent, comme l'indique la figure 3.

F est un axe vertical portant tout l'appareil que l'on fait tourner à volonté au moyen de la flèche G, manœuvré par un cheval ou un treuil fixé sur le sol.

Lorsque le moulin est grand, on fait en sorte que le toit seulement soit mobile; à cet effet, on le fait rouler sur des galets, ce qui est facile quand on a désengrené les deux roues d'en haut.

Il existe des moulins qui s'orientent d'eux-mêmes et dont les voiles se ferment de quantités proportionnelles à la force du vent; ces moulins sont fort ingénieux, mais fort chers et toujours en réparation.

On a imaginé des moulins qui vont à tous vents. Ces moulins, dont on peut voir un exemple dans la planche XI, *fig.* 1, portent le nom de *Pananémons* (παν ἄνεμος).

Ils consistent tous en un axe vertical muni d'appareils susceptibles d'offrir une surface à l'action du vent quand il agit d'un côté, et de le détourner en lui offrant le moins de résistance possible, quand il agit de l'autre côté.

On a trouvé que, à surface égale de voiles, ces moulins rendent le dixième de l'effet utile transmis par les moulins ordinaires, d'où résulte que leur emploi n'est nullement avantageux.

TITRE III.

ROUES HYDRAULIQUES.

SECTION Ire.

DÉTERMINATION DU TRAVAIL D'UN POIDS P D'EAU TOMBANT D'UNE HAUTEUR H.

§ 1er. — ÉCOULEMENT PAR UN ORIFICE.

Soit A (*Pl.* XV, *fig.* 5) un vase rempli d'eau et percé d'un orifice S à sa partie inférieure, par lequel cette eau s'écoule. Soit h la hauteur du niveau au-dessus du centre de gravité de cet orifice.

Appelons v la vitesse de sortie de l'eau par l'orifice d'écoulement, et P le poids écoulé par seconde.

Le travail produit par le poids P d'eau descendant depuis le niveau supérieur de l'eau jusqu'à l'orifice d'écoulement est P h.

La force vive à l'orifice d'écoulement est :

$$m v^2 = \frac{P v^2}{g}$$

Or, la force vive produite est égale au double de la quantité d'action dépensée, on a donc :

$$\frac{P v^2}{g} = 2 P h$$

On en déduit : $v^2 = 2 g h$

et : $v = \sqrt{2 g h}$ . . . . . (1)

Si le niveau reste constant, h est constant, et réciproquement; s'il diminue, h diminue, et par conséquent v.

Cette valeur de v est théorique; en pratique, les frottements du liquide contre les parois du vase et la *contraction* qu'éprouve la veine fluide à sa sortie de l'orifice font que cette vitesse est moindre et au plus égale à :

$$0.95 \sqrt{2 g h}$$

Comme, dans la plupart des cas, ce n'est pas la vitesse que l'on veut connaître, mais la quantité de liquide écoulé dans un temps donné, on a fait des expériences pour déterminer exactement les coefficients par lesquels il faut multiplier les résultats du calcul, suivant les différents orifices par lesquels l'eau s'écoule, et on a trouvé :

Le volume écoulé par seconde étant théoriquement égal à la section de l'orifice multipliée par la vitesse d'écoulement, il faut multiplier sa valeur théorique par :

o.m65, *lorsque l'écoulement a lieu en mince paroi;*

o.m85, *lorsque l'écoulement a lieu par un ajutage cylindrique;*

o.m95, *lorsque l'écoulement a lieu par un ajutage conique,* la plus petite section de cet ajutage étant considérée comme celle de la veine,

D'où les trois formules :

1° . . . $V = 0.65\ S \sqrt{2 g h}$

2° . . . $V = 0.85\ S \sqrt{2 g h}$

3° . . . $V = 0.95\ S \sqrt{2 g h}$

§ 2. — ÉCOULEMENT PAR UN DÉVERSOIR.

Soit A (*Pl.* XV, *fig.* 6) un réservoir dans lequel l'eau s'élève jusqu'au niveau BC.

Soit h la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du déversoir D.

Dans ce cas, la vitesse théorique d'écoulement n'est pas égale à $\sqrt{2gh}$, mais seulement à $\sqrt{gh}$, $\frac{1}{2}h$ étant seulement la hauteur génératrice de l'écoulement, à cause de la dépression qu'éprouve le niveau du liquide à l'endroit du déversoir.

La dépense, déterminée par expérience, a été trouvée la suivante :

$$V = 0.405\, lh \sqrt{2gh} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

dans laquelle l est la largeur du déversoir.

Lorsque h est très-petit, on doit remplacer le coefficient 0.m405 par 0.m415 ; et quand il dépasse 0.m20, il faut le remplacer par 0.m90. La valeur 0.m405 du coefficient correspond à une valeur de h égale à 0.m10 environ.

§ 3. — ÉCOULEMENT DANS UN COURSIER INDÉFINI.

La vitesse des eaux courantes se détermine au moyen d'un flotteur abandonné dans la partie du courant la plus rapide.

On a trouvé par expérience que :

1° La vitesse des eaux courantes est généralement comprise entre 0.m30 et 0.m40 par seconde.

2° La vitesse moyenne est égale aux $\frac{4}{5}$ de celle qui a été observée au moyen du flotteur.

Connaissant la vitesse moyenne d'un courant, on détermine le volume écoulé par seconde en multipliant cette vitesse par la section moyenne, sur une certaine longueur.

Pour avoir la chute disponible sur une longueur donnée, il suffit de faire un nivellement.

§ 4. — TRAVAIL DÉPENSÉ.

Soient A et B (*fig.* 7) deux réservoirs d'eau ; H la différence constante entre les hauteurs du niveau de l'eau dans ces deux réservoirs.

Si P est le poids d'eau qui passe, par seconde, du réservoir A dans le réservoir B, le travail produit par cette eau est PH.

Or, on a pour l'eau :

$$P = V \times 1000 \text{ kilog.}$$

Donc, pour l'écoulement par un orifice, on a :

$$P = 1000 \times K \times S \sqrt{2gh}$$

K étant le coefficient dépendant de l'orifice ;
et pour le travail :

$$PH = 1000\ HKS \sqrt{2gh}$$

Pour l'écoulement par un déversoir, on a de même :

$$P = 1000 \times 0.405\ lh \sqrt{2gh}$$

et pour le travail :

$$PH = 405\ H\ lh \sqrt{2gh}$$

SECTION II.

THÉORIE DES ROUES HYDRAULIQUES.

On distingue deux espèces de roues hydrauliques :

Les roues à axe horizontal,
Les roues à axe vertical.

Les premières portent le nom de roues horizontales; les secondes se nomment roues verticales ou *turbines*, du nom de l'un des inventeurs de ces roues.

ARTICLE Ier.

ROUES A AXE HORIZONTAL.

Il existe plusieurs genres de roues horizontales, suivant :

1° La nature du cours d'eau;
2° La vitesse que l'on veut avoir;
3° La hauteur de la chute;
4° La quantité d'eau disponible.

Quand on peut barrer le cours d'eau, on a une chute, et alors la roue peut être de l'un des quatre genres suivants, savoir :

1° *A vanne, recevant l'eau en dessous ;*
2° *A déversoir, recevant l'eau de côté;*
3° *A vanne, recevant l'eau de côté;*
4° *A vanne, recevant l'eau en dessus.*

Quand on ne peut barrer le cours d'eau, *alors la roue est dite pendante, à palettes planes ou courbes, se mouvant dans un coursier indéfini.*

§ 1er. — ROUES A VANNE, RECEVANT L'EAU EN-DESSOUS.

Elles sont de deux espèces :

Les roues à aubes planes;
Les roues à aubes courbes.

Soient A et B (*fig.* 8) deux réservoirs d'eau séparés l'un de l'autre par la cloison C, munie à sa partie inférieure d'une vanne D, pouvant se soulever à l'aide d'une crémaillère engrenant avec un pignon mis en mouvement par une série de roues communiquant à une manivelle à bras.

Soit E le centre d'un arbre horizontal sur lequel est montée une roue hydraulique composée de plusieurs couronnes telles que F F, maintenues en place par des bras qui vont se noyer dans un tourteau monté sur l'arbre, et reliées les unes aux autres par des aubes soit planes, comme en G, G', G'', G''', soit courbes, comme dans le reste du dessin de la couronne.

1° *Roues à aubes planes.*

Supposons, en premier lieu, que toutes les aubes sont planes et que l'on ouvre la vanne d'une quantité suffisante pour que le niveau de l'eau ne s'abaisse ni ne s'élève dans le réservoir supérieur. L'eau s'échappant par l'orifice va frapper les aubes avec une vitesse dépendant de la hauteur h du niveau de l'eau au-dessus du centre de gravité de cet orifice, et communiquer un mouvement de rotation à la roue.

Soient : u la vitesse de sortie de l'eau;
v la vitesse de rotation de la roue à la circonférence où se fait le choc.

L'eau, une fois en contact avec les aubes, prend leur vitesse; elle a donc perdu pendant le choc la différence $u - v$.

Si M est la masse d'eau dépensée par seconde, le travail dépensé est la moitié de la force vive développée à la sortie, ou :

$$\frac{1}{2} M u^2$$

et le travail absorbé par le choc : $\frac{1}{2} M (u - v)^2$

Soit P la résistance de la roue, exprimée en une force tangente à la circonférence sur laquelle a lieu le choc; le travail utilisé est : $P v$.

L'eau, après avoir accompagné la roue avec une vitesse v, finit par l'abandonner en tombant dans le réservoir B. Elle possède donc à ce moment la vitesse v, et la portion du travail dépensé qu'elle emporte avec elle est :

$$\frac{1}{2} M v^2$$

Il résulte de là, que l'on a l'équation suivante entre le travail dépensé et les quantités de travail absorbées :

$$\frac{1}{2} M u^2 = \frac{1}{2} M (u-v)^2 + Pv + \frac{1}{2} M v^2$$

On en déduit, pour expression de l'effet utile :

$$Pv = Mv(u-v) \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

équation dans laquelle v seule est variable. Donnant à cette quantité différentes valeurs, il vient :

pour $v = 0$: $Pv = 0 \qquad Mv(u-v) = 0$

Pour des valeurs de v comprises entre zéro et u, le facteur Mv augmente et le facteur $u-v$ diminue ; il y a donc une valeur de v pour laquelle le produit $v(u-v)$ est un *maximum*.

Posons : $v(u-v) = y$.

nous en déduisons : $v^2 - vu + y = 0$

et : $$v = \frac{u}{2} \pm \sqrt{\frac{u^2}{4} - y}$$

Le plus grande valeur de y, pour v réelle, est $y = \frac{u^2}{4}$

correspondant à :

$$v = \frac{u}{2}$$

Il faut que la vitesse de la roue soit égale à la moitié de la vitesse de sortie de l'eau, pour que l'effet utile soit un maximum.

Soit Q le poids d'eau écoulé par seconde, on a :

$$Q = Mg.$$

Soit h la hauteur de chute génératrice de la vitesse u, on a :

$$u^2 = 2gh.$$

Remplaçant M, u et v par leurs valeurs dans l'équation (3), et remarquant que l'on a :

$$\frac{u}{2}\left(u - \frac{u}{2}\right) = \frac{u^2}{4}$$

nous avons : $$Pv = \frac{Q}{g} \cdot \frac{2gh}{4} = 0.5\, Qh \quad \ldots \quad (4)$$

ce qui indique que *l'effet utile est, théoriquement, moitié du travail dépensé.*

Pour déduire P de cette équation, remplaçons v par $\frac{u}{2}$ et divisons, de part et d'autre, par cette quantité, nous avons :

$$P = \frac{Q\,h}{u} = \frac{Q\,h}{\sqrt{2gh}} = Q\,\frac{\sqrt{h}}{\sqrt{2\,g}} = 0.225\ Q\sqrt{h}$$

En pratique, on obtient seulement :

$$Pv = 0.3\ Q h. \quad \ldots\ldots \quad (5).$$

c'est-à-dire, moins du tiers du travail dépensé.

L'expérience prouve que le *maximum* d'effet utile correspond à $v = {}^2/_5\ u$, au lieu de ${}^1/_2\ u$.

En général, on doit donner à la roue travaillant une vitesse moitié de celle qu'elle a quand elle marche à vide.

On déduit de là pour P :

$$P = \frac{0.3\ Q\,h}{0.4\ u} = \frac{0.3}{0.4}\ Q\ \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{2\,gh}} = 0.469\ Q\sqrt{h}$$

Discussion.

Plus h est grand, plus P est grand; mais aussi, plus Q est grand, plus P est aussi grand. P étant exprimé en fonction de Q et $\sqrt{h}$, croît dans un plus grand rapport avec Q qu'avec h. Il en résulte que, pour ces roues, il est préférable d'avoir de grands volumes d'eau que de grandes chutes.

Données pratiques pour l'exécution.

On laisse un jeu de 0.^{m}01 entre le dessous de la roue et le sol du coursier.

On donne à la vanne une ouverture de 0.^{m}10 à 0.^{m}12 au plus. A cet effet, on donne à la roue une largeur proportionnée au volume d'eau disponible. Plus l'ouverture de la vanne est grande, plus h est petit, par conséquent plus P l'est aussi.

Afin que la vanne soit le plus près possible de la roue, on lui donne une inclinaison de 60° environ. Comme la veine se contracte d'autant moins que l'orifice est plus approchant de la forme conique, on taille la partie inférieure de la vanne en biseau, comme l'indique la figure.

Au lieu de placer les aubes sur les rayons partant du centre, et normalement à la circonférence de la roue, on leur donne une inclinaison de 22° avec le rayon.

La hauteur des aubes doit être telle qu'elles ne plongent que des deux tiers de cette hauteur dans l'eau quand la roue marche. Elle varie entre 30 et 45 centimètres.

La distance entre les aubes, sur la circonférence moyenne, est égale à environ leur hauteur, et ne doit pas dépasser une fois et demie cette hauteur.

Le rayon de la roue est tout-à-fait dépendant de la vitesse de rotation que l'on veut avoir pour l'arbre. Néanmoins, il est convenable que ce rayon n'ait pas moins de 1.^{m}50.

2° *Roues à aubes courbes*, dites *Roues à la Poncelet*.

Nous avons vu que les roues à aubes planes présentaient le grave inconvénient de perdre par le choc une quantité d'action égale à $\frac{1}{2} M (u - v)^2$, laquelle représente le quart du travail dépensé, puisque l'on a : $v = \frac{1}{2} u$.

Pour éviter cette perte, M. *Poncelet* a imaginé de mettre des aubes courbes, dont les résultats sont les suivants :

Lorsque l'eau sort de la vanne (*fig.* 8), au lieu de rencontrer une surface plane contre laquelle elle choque, elle s'élève le long de la courbe de l'aube qui se présente à elle en prolongement du fond du coursier, et, arrivée à une certaine hauteur, elle retombe sur cette aube, le long de laquelle elle descend pour en sortir avec une vitesse due à la hauteur à laquelle elle s'est élevée.

Si u et v représentent, comme précédemment, les vitesses de l'eau et de la roue, l'eau, une fois entrée dans la roue, tend à monter avec une vitesse initiale u; mais comme la roue avance avec la vitesse v, l'eau a cette vitesse-là en moins dans la roue et ne monte qu'en vertu de la vitesse initiale $u - v$, et s'élève à une hauteur h', théorique, que l'on obtient en posant :

$$(u - v)^2 = 2 g h'$$

d'où :

$$h' = \frac{(u - v)^2}{2 g}$$

L'eau, après être montée, redescend et possède au bas de sa chute la vitesse $u - v$ dans la roue et en sens contraire de sa sortie de la vanne. Il résulte de là que quand elle a quitté l'aube, elle est animée d'une vitesse $u - v$, en sens con-

traire du mouvement de la roue, et d'une vitesse v dans le même sens, ce qui donne pour vitesse de sortie, en sens contraire :

$$(u - v) - v = u - 2v = v'.$$

On a, pour équation du travail en forces vives :

$$\tfrac{1}{2} M u^2 = P v + \tfrac{1}{2} M v'^2$$

$\tfrac{1}{2} M v'^2$ est le travail perdu.

Il résulte de là que le travail produit est un *maximum* quand v' est un *minimum.*

Or, posons $v' = 0$, il vient :

$$u = 2u.$$

ce qui indique que :

1° L'eau sort de la roue avec une vitesse nulle;

2° La vitesse de la roue doit être moitié de celle de l'eau, comme précédemment.

Dans ce cas, on a :

$$P v = \tfrac{1}{2} M u^2 = Q h$$

Le travail produit est égal, théoriquement, au travail dépensé.

On en déduit :

$$P = Q \frac{h}{v} = Q \frac{h}{\tfrac{1}{2} u} = Q \frac{2h}{\sqrt{2gh}} = 2Q \sqrt{\frac{h}{2g}}$$

valeur double de celle que nous avons trouvée pour les roues à aubes planes.

Données pratiques.

Tracé des aubes. — Il ne suffit pas, pour obtenir le *maximum* d'effet utile, que les aubes soient courbes, il faut encore que leur courbure soit convenablement dirigée.

A cet effet, soient OA (*fig.* 9) le rayon extérieur de la roue et OC le rayon intérieur. Pour déterminer la courbure de l'aube passant par le point A, on mène la tangente AT et on fait, au point A, l'angle TAB = 25 degrés. Du point A on élève la perpendiculaire AC sur AB et on fait l'angle CAD = 60 degrés.

La droite AD rencontre la circonférence intérieure au point F. On détermine sur la droite AC le point E à égale distance des deux points A et F et on a le centre de l'arc de cercle devant former l'aube AF.

Hauteur des aubes.— La formule $h' = \frac{(u-v)^2}{2g}$ donne,

pour $v = \frac{1}{2}u$:

$$h' = \frac{u^2}{8g}$$

Or, on a : $u^2 = 2gh$

d'où on tire : $h' = \frac{2gh}{8g} = \frac{h}{4}$

La hauteur théorique des aubes doit être égale au quart de la chute.

Espacement des aubes. — L'espacement des aubes doit être aussi petit que possible, sans quoi l'eau cesse d'agir de la manière que nous avons définie précédemment. En général, on le fait égal aux trois quarts de leur hauteur.

Effet utile réel. — Contrairement à ce que nous avons dit pour les roues à aubes planes, il faut plutôt augmenter la vitesse de la roue que la diminuer, pour obtenir le *maximum* d'effet utile. En général, on porte la vitesse de la roue à 0.6 u, au lieu de 0.5.

L'effet utile moyen est, dans ce cas, 0.65 $Q\,h$.

Beaucoup de roues ne donnent que 0.60, et très-peu donnent 0.70.

Une des principales conditions pour obtenir beaucoup d'effet utile, c'est d'avoir une petite chute. Les roues à la *Poncelet* conviennent principalement pour grandes vitesses avec beaucoup d'eau et peu de chute.

§ 2. — ROUES A DÉVERSOIR, RECEVANT L'EAU DE CÔTÉ.

Soient A et B (*Pl.* IX, *fig.* 82) deux réservoirs, séparés l'un de l'autre par la vanne à déversoir C. Soit D un arbre portant une roue hydraulique à aubes planes se mouvant dans un coursier courbe E.

Soient u et v les vitesses de l'eau et de la roue comme précédemment; h la hauteur entre les deux niveaux, et h' l'ouverture de la vanne.

L'eau une fois entrée dans les aubes, se meut avec elles et descend avec la vitesse v. Elle a donc perdu la différence de vitesse $u - v$ et la quantité d'action $\frac{1}{2}M(u-v)^2$.

L'eau sort de la roue avec la vitesse v et emporte avec elle la quantité d'action $\frac{1}{2}Mv^2$.

La chute totale étant h, soit α la hauteur du niveau de l'eau du réservoir au-dessus du centre de gravité de sa section d'écoulement, on a : $\alpha =$ fonction de h', et la hauteur de chute utilisée est $h - \alpha$; on a alors pour équation du travail :

$$Mg(h-\alpha) = Pv + \frac{1}{2}M(u-v)^2 + \frac{1}{2}Mv^2$$

d'où on déduit :

$$Mg(h-\alpha) = Pv + \frac{1}{2}M(u^2 - 2vu + 2v^2)$$

Remplaçant u^2 par sa valeur $2g\dfrac{h''}{2} = gh''$ (h'' étant l'épaisseur de la veine à l'endroit du déversoir), il vient, en résolvant par rapport à Pv :

$$Pv = Mg\left(h - \alpha - \frac{h''}{2}\right) + Mv(u-v)$$

Le *maximum* de valeur du produit $v(u - v)$ correspondant à $v = \frac{1}{2}u$, il vient, en donnant à v cette valeur :

$$Pv = Q\left(h - \alpha - \frac{h''}{2}\right) + \frac{1}{2}Mu^2$$

Or, on a : $\frac{1}{2}Mu^2 = \frac{1}{2} \times \dfrac{Q}{g} \times gh'' = \frac{1}{2}Qh''$

on en déduit :

$$Pv = Q(h - \alpha) = Q(h - fh').$$

Plus h' est petit, plus fh' est petit, plus l'effet utile est considérable ; comme h' ne peut devenir nul, on en conclut que l'effet utile théorique ne peut jamais être égal au travail dépensé.

Données pratiques.

La vitesse v de la roue doit être comprise entre $0.^m70$ et 1 mètre. Pour $v = 0.^m70$ il vient : $u = 1.^m40$, ce qui donne pour h'' :

$$h'' = \frac{u^2}{g} = \frac{1.96}{9.81} = 0^m.20$$

En prenant pour centre de gravité de l'écoulement le milieu de h'', on a :

$$h' = \alpha + \frac{h''}{2} = \alpha + 0.^m10$$

Or, l'expérience prouve que h'' est environ les 0.6 de h'; il en résulte que l'on a :

$$\alpha = fh' = \frac{h''}{0.6} - \frac{h''}{2}$$

$$= \frac{0.20}{0.6} - 0.10 = \frac{14}{60} = 0.^{m}233$$

Il y a donc toujours, avec ces roues,) une perte de chute d'au moins 23 centimètres.

Néanmoins, ces roues sont celles qui donnent le *maximum* d'effet utile, parce qu'elles perdent moins que les autres.

En général, on obtient de 65 à 70 p. 100 d'effet utile.

Comme les aubes laissent passer l'eau au-dessous d'elles dans les coursiers courbes, on construit aussi ces roues à augets (*Pl.* XVI, *fig.* 10), avec ou sans coursier courbe. Celles à augets et à coursier courbe ont l'avantage de n'abandonner l'eau qu'à la fin de la chute, mais sont quelquefois exposées à se détériorer s'il entre la moindre des choses entre ces augets et le coursier.

Quand on fait les roues à augets, il faut leur donner une capacité égale aux 4/3 de la quantité d'eau qu'ils doivent recevoir en passant sous le déversoir.

§ 3. — ROUES A VANNE, RECEVANT L'EAU DE CÔTÉ OU EN DESSUS.

Les roues hydrauliques à déversoir, recevant l'eau de côté, sont, comme nous venons de le voir, celles qui donnent le *maximum* d'effet utile; par cette raison, ce sont celles que l'on emploie de préférence dans les usines, où on n'a que juste la quantité d'eau nécessaire à la production du travail.

Mais ces roues présentent un grave inconvénient quand elles reçoivent l'eau, soit directement de la rivière qui les alimente, soit par l'intermédiaire d'un canal. Dans ce cas, le niveau supérieur de l'eau varie à chaque instant dans des limites plus ou moins étendues, et augmente ou diminue proportionnellement la vitesse de la roue.

Lorsque l'usine mise en mouvement par le moteur hydraulique est importante, on emploie un régulateur de vanne, qui est tantôt une machine, tantôt un enfant auquel on donne 50 centimes par jour. Mais dans les petites usines il ne peut en être ainsi.

Comme la plupart du temps ces dernières ont toujours plus de force disponible qu'elles n'en consomment, on applique à leur moteur la disposition suivante, qui a l'avantage de rendre son mouvement régulier, pour une quantité constante de travail absorbé par l'usine.

Soient A et B (*fig.* 11) les deux réservoirs supérieur et inférieur. La roue C étant posée, au lieu de lui envoyer l'eau du niveau DE par un déversoir, comme dans les roues de côté ordinaires, on retient l'eau par une petite vanne ouvrant en-dessous. Il résulte de là que l'eau, en sortant du réservoir supérieur, va choquer contre les aubes ou les augets de la roue, comme dans les roues en-dessous, puis ensuite descend avec eux le long du coursier courbe, comme dans les roues de côté.

Par cette disposition, la chute comprise entre le niveau DE et l'orifice d'écoulement est à peu près perdue; il en résulte que cette chute peut varier de quantités notables, soit en-dessus, soit en-dessous de DE, sans que le travail effectué par la roue soit différent.

Comme on le voit, ce genre de roues n'est applicable qu'autant que l'on a excès d'eau.

La figure 12 représente une disposition analogue appliquée à une roue recevant l'eau en-dessus, et n'a besoin d'aucune explication.

§ 4. — ROUES PENDANTES.

Soit A (*fig.* 13) un cours d'eau animé d'une vitesse u.

Soit B une roue à palettes plongée dans ce cours d'eau et en recevant une vitesse v à la circonférence moyenne des palettes.

La résistance éprouvée par un plan se mouvant dans un liquide en repos, est proportionnelle au quarré de sa vitesse; or, avoir la vitesse v dans le sens de l'eau, qui a u, c'est la même chose que si l'eau choquait les aubes en repos avec la vitesse $u - v$, ou, enfin, que si les palettes se mouvaient en sens contraire, dans une eau dormante, avec la vitesse $u - v$.

La résistance éprouvée par les palettes, c'est-à-dire l'action de l'eau sur les palettes, est proportionnelle à $(u - v)^2$.

Soit h la hauteur génératrice de la vitesse $u - v$, on a :

$$(u - v)^2 = 2gh.$$

Or, la pression sur les palettes est un prisme d'eau ayant pour base la section S des palettes, et pour hauteur h, on a donc, en appelant P cette pression:

$$P = S \times h \times 1000 \text{ kil.}$$

Remplaçant h par sa valeur $\frac{(u-v)^2}{2g}$, il vient :

$$P = S \times 1000 \frac{(u-v)^2}{2g}$$

et pour travail produit :

$$Pv = Sv \times 1000 \frac{(u-v)^2}{2g} = \frac{S \times 1000}{2g} v(u-v)^2 \quad (1)$$

Pv est un *maximum* quand le produit $v(u-v)^2$ est un *maximum*.

Pour trouver la valeur *maxima* de ce produit, posons :

$$v(u-v)^2 = y.$$

il vient : $$u^2 - 2vu + v^2 - \frac{y}{v} = 0$$

d'où : $$u = v \pm \sqrt{v^2 - v^2 + \frac{y}{v}}$$

et : $$u = v \pm \sqrt{\frac{y}{v}}$$

Pour des valeurs positives quelconques de y on a toujours des valeurs positives pour u, il en résulte que la valeur *maxima* de y est ∞, ce qui n'indique rien.

On a trouvé, par expérience, que le *maximum* d'effet utile correspondait à $v = \frac{1}{3}u$; remplaçant v par cette valeur dans l'équation (1), nous avons :

$$Pv = \frac{S \times 1000}{2g} \times \frac{1}{3}u \times \frac{4u^2}{9}$$

Effectuant les calculs indiqués :

$$Pv = 3.77\, S u^3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

On en déduit pour P :

$$P = 11.31\, S u^2$$

Soit K le coefficient de la résistance pratique du fluide, il vient :

$$P = 11.31\, K S u^2$$

On a trouvé que quand les palettes plongent entièrement, K est compris entre 2 et 3; on a donc en moyenne : $K = 2.5$.

La hauteur la meilleure des aubes est comprise entre $0.^m50$ et $0.^m80$; leur espacement doit être égal à leur hauteur. Comme dans les roues en-dessous, on donne aux aubes une inclinaison de 25° avec le rayon de la roue, lequel doit être égal à trois fois et demie la hauteur de l'aube, ce qui donne pour longueur de l'aube les deux septièmes du rayon extérieur. Comme cette hauteur ne peut être moindre que $0.^m50$, il en résulte que le rayon de la roue doit être au moins de $1.^m75$.

ARTICLE II.

ROUES A AXE VERTICAL, OU TURBINES.

On distingue deux espèces de turbines, savoir :

Les turbines à pression verticale du liquide sur la partie mobile;

Les turbines à pression horizontale du liquide sur la partie mobile, dites à force centrifuge.

§ 1er. — TURBINES A PRESSION VERTICALE.

Soient EF (*fig.* 14) l'axe d'un cylindre, et MA la direction d'un filet fluide infiniment petit. Lorsque ce filet vient rencontrer le cylindre en A, son action se décompose en deux : une horizontale qui tend à faire tourner le cylindre, l'autre verticale qui est détruite par la résistance de ce dernier.

Soit u la vitesse d'arrivée du filet au point A, et sur le prolongement AC de MA prenons $AC = u$. Les vitesses composantes de u sont A B et A D, pour lesquelles on a, en appelant α l'angle DAC :

$$AB = u \sin. \alpha.$$
$$AD = u \cos. \alpha.$$

Soit v la vitesse du cylindre à sa circonférence. La vitesse horizontale avec laquelle l'eau agit sur le cylindre est égale à :

$$u \sin. \alpha - v.$$

Prenons $AH = u \sin. \alpha - v$ et construisons le rectangle sur A D et A H; la diagonale AI nous donne la direction réelle du filet d'eau sur la surface du cylindre après le point A, pendant le mouvement de ce dernier.

Recevons l'action de ce filet sur une courbe AA' tangente, au point A, à la diagonale AI; le filet d'eau, entrant dans cette

courbe, n'éprouve aucun choc et la suit jusqu'en A', point par lequel il s'échappe.

Or, en s'échappant il est animé d'une vitesse u' suivant A'G égale à $u \sin. \alpha - v$, plus la quantité dont cette vitesse a pu s'accroître par la chute AA'. D'autre part, il est animé, avec la roue, dans le sens AL, d'une vitesse v. Il sort donc de la roue avec une vitesse u'' dirigée suivant A'K diagonale du parallélogramme construit sur u' et v au point A'.

Soient h la hauteur de chute génératrice de la vitesse u, et a la hauteur de la roue; la quantité d'action totale dépensée par l'eau jusqu'au bas de la roue est :

$$mg\ (h + a)$$

La quantité d'action communiquée à la roue est :

$$P\,v.$$

La quantité d'action perdue par l'eau, sortant de la roue, est :

$$\tfrac{1}{2}\, m u''^2$$

On a donc : $mg\ (h + a) = Pv + \tfrac{1}{2} m u''^2$

d'où : $Pv = Mg\ (h + a) - \tfrac{1}{2} m u''^2$

Plus u'' est petite, plus Pv est grand.

Or, u'' peut être nulle; pour cela, il suffit que u' soit égale et directement opposée à v, auquel cas la courbe est tangente au plan de la circonférence inférieure du cylindre.

Pour établir la relation $u' = v$, recherchons u'.

On a : $u^2 = 2\,gh$ au point A.

et $\overline{AI}^2 = \overline{AH}^2 + \overline{AD}^2 = (u \sin. \alpha - v)^2 + u^2 \cos.^2 \alpha$

$= u^2 + v^2 - 2\,uv \sin. \alpha$

d'où on tire pour expression de la vitesse de l'eau entrant dans la courbe :

$$AI = \sqrt{u^2 + v^2 - 2\,uv \sin. \alpha}$$

Soit h' la hauteur d'eau qui produirait la vitesse AI, on a :

$$u^2 + v^2 - 2\,uv \sin. \alpha = 2\,gh'$$

L'eau ayant gagné la chute a au point A', la vitesse u' de sortie est due à la charge génératrice $h' + a$; d'où nous tirons :

$$\begin{aligned} u'^2 &= 2\,g\ (h' + a) \\ &= 2\,gh' + 2\,ga \\ &= u^2 + v^2 - 2\,uv \sin. \alpha + 2\,ga. \end{aligned}$$

Remplaçant dans cette équation u^2 par sa valeur $2\,g\,h$, nous avons :

$$u'^2 = 2\,g\,(h+a) + v^2 - 2\,uv\,\sin.\,\alpha.$$

Faisant dans cette équation $u' = v$, comme il a été dit précédemment, pour obtenir le *maximum* d'effet utile, il vient :

$$2\,g\,(h+a) = 2\,uv\,\sin.\,\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

d'où :

$$v = \frac{g\,(h+a)}{u\,\sin.\,\alpha}$$

et :

$$\sin.\,\alpha = \frac{g\,(h+a)}{uv}$$

Ainsi, quelles que soient les valeurs de $\sin.\,\alpha, u, v, h, a,$ du moment où on satisfait à l'équation (1), on obtient le *maximum* d'effet utile, lequel est égal théoriquement au travail dépensé.

§ 2. — TURBINES A FORCE CENTRIFUGE.

Soit o (*fig.* 15) la trace horizontale de l'axe d'un cylindre fixe intérieur ayant pour rayon oA, et de l'axe d'un cylindre extérieur tournant autour du premier et ayant pour rayon oL.

Soit M A la direction, au point A, d'un filet d'eau qui a été dirigé horizontalement le long de la courbe M'A ; soit u sa vitesse ; v, celle de la roue au point A, comme dans le cas précédent.

La vitesse u se décompose en deux, une normale AD détruite, et une tangente A B qui obtient tout son effet ; on a alors :

$$\text{AD} = u\,\cos.\,\alpha$$
$$\text{AB} = u\,\sin.\,\alpha$$

La roue ayant v, l'eau n'avance sur elle horizontalement que de $u\,\sin\,\alpha - v$, et alors la direction du filet d'eau entrant dans la roue est A L, diagonale du parallélogramme construit sur AD $= u\,\cos.\,\alpha$, et AH $= u\,\sin.\,\alpha - v$.

Mettons une courbe AA' tangente à IA au point A, l'eau sort en AA' avec une vitesse u'' et se dirige suivant la diagonale du parallélogramme construit sur u', vitesse de sortie, et v' vitesse de la roue sur la circonférence A'.

Ici commence la différence entre les deux théories.

Si R et r sont les rayons des circonférences extérieure et intérieure de la roue, on a :

$$v' : v :: R : r$$

d'où :

$$v' = \frac{v\,R}{r}$$

On a maintenant, pour équation du travail :

$$mgh = Pv + \tfrac{1}{2}\,mu''^2$$

P étant pris sur la circonférence intérieure, on en déduit :

$$Pv = mgh - \tfrac{1}{2}\,mu'^2$$

Plus u'' est petit, plus Pv est grand ; pour $u'' = o$, il faut que l'on ait :

$$u' = v' = v\,\frac{R}{r}$$

Or on a pour AI, vitesse d'entrée de l'eau dans la roue :

$$\overline{AI}^2 = \overline{AH}^2 + \overline{AD}^2 = (u\sin.\alpha - v)^2 + u^2\cos.^2\alpha$$
$$= u^2 + v^2 - 2\,uv\sin.\alpha$$

La molécule liquide arrivant du cylindre intérieur au point A, possède la force vive mu^2. Elle entre dans le cylindre extérieur avec la force vive $m\,\overline{AI}^2$. Elle agit sur la roue, en A, avec la force vive $m\,v^2$; et en A' avec la force vive $M\,v'^2$, car elle se dirige suivant AI avec une vitesse composante de deux forces dont l'une est $u\sin.\alpha - v$.

Elle a donc gagné, de A en A', la force vive

$$m\,(v'^2 - v^2)$$

Elle possédait, en entrant dans la roue, la force vive $m\,\overline{AI}^2$, elle sort donc de la roue avec une force vive égale à la somme de ces deux dernières, c'est-à-dire :

$$m\,(v'^2 - v^2 + \overline{AI}^2)$$

Or, la vitesse de sortie étant u', la force vive à la sortie est mu'^2 ; on en conclut :

$$u'^2 = v'^2 - v^2 + \overline{AI}^2$$

Posant $u' = v'$, il vient :

$$\overline{AI}^2 = v^2$$

c'est-à-dire : $v^2 = u^2 + v^2 - 2\,uv\,\sin.\alpha$

d'où on tire : $u^2 - 2\,uv\,\sin.\alpha = 0$

et : $u\,(u - 2\,v\,\sin.\alpha) = 0$

équation qui se satisfait en posant :

$$u = 2\,v\,\sin.\alpha. \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

d'où : $$v = \frac{u}{2\,\sin.\alpha}$$

$$\sin.\alpha = \frac{u}{2\,v}$$

Les turbines sont d'excellentes roues hydrauliques, quand elles sont bien construites, et sont destinées à remplacer les roues à axe horizontal dans tous les établissements où le moteur transmet son mouvement à plusieurs étages.

Il existe plusieurs systèmes de turbines.

La figure 16 représente une turbine du système de M. *Fournayron.*

Après la turbine de M. *Fournayron*, c'est la turbine de M. *Combes* qui est la plus estimée; mais nous ne doutons nullement que cette dernière ne soit préférée à toutes les autres dans un temps plus ou moins rapproché. Ce qui distingue la turbine de M. *Combes* des autres turbines, c'est qu'au lieu de prendre l'eau en-dessus, elle la prend en-dessous, et, par ce moyen, ne présente aucune difficulté dans l'exécution de la crapaudine qui supporte l'arbre, la pression de l'eau tendant à soulever constamment l'appareil que des supports ordinaires, convenablement espacés sur l'arbre, tiennent parfaitement en place, aidés par une pointe, analogue à celles des tours, que l'on applique à la partie supérieure de l'arbre, et s'oppose ainsi à l'action élévatoire de l'eau.

Dans la turbine de M. *Combes*, la sortie de l'eau est réglée par des disques horizontaux, se mouvant dans un même plan, entre les aubes intérieures du cylindre fixe; tandis que, dans celle de M. *Fournayron*, ce sont des vannes verticales en bois, réparties sur tout le pourtour intérieur du cylindre fixe. Il nous serait difficile de dire à laquelle de ces deux dispositions on doit donner la préférence.

TITRE IV.

MACHINES A VAPEUR.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION HISTORIQUE DES MACHINES A VAPEUR.

Lorsqu'un liquide, renfermé dans un vase ouvert, est soumis à l'action d'un foyer de chaleur, il s'échauffe; par suite, la force répulsive du calorique se manifestant, sa surface émet une quantité de vapeurs qui croît insensiblement, et dont la force élastique augmente avec la température; enfin, lorsque cette dernière est suffisante pour que la force élastique des vapeurs formées soulève le poids de l'atmosphère, elles se forment dans l'intérieur même du liquide, et viennent crever à sa surface sous forme de globules : le liquide entre alors en *ébullition.*

L'un des principaux phénomènes qui se manifestent dans l'ébullition, c'est que, lorsque le liquide est arrivé à ce point, sa température reste constante jusqu'à ce que toute la masse soit évaporée. Il en résulte que la quantité de liquide évaporé, dans un temps donné, est proportionnelle à la quantité de chaleur absorbée par lui pendant le même temps.

Le point d'ébullition étant la température à laquelle il faut élever le liquide pour que la force répulsive des molécules soit supérieure à la pression de l'air sur sa surface, on en déduit que, plus cette dernière est grande, plus le point d'ébullition est lui-même élevé.

De tous les moyens que l'on peut employer pour augmenter la pression sur un liquide exposé à l'action du calorique, le plus simple consiste à renfermer ce liquide dans un vase clos; alors le point d'ébullition correspond à la pression nécessaire pour briser les parois du vase, plus celle nécessaire pour faire équilibre à la pression atmosphérique, si l'opération a lieu dans l'air.

Du moment où l'on peut augmenter la force élastique de la vapeur produite en renfermant simplement le liquide dans un vase clos, il devient possible de déterminer, pour cette force, une valeur *maxima* qu'elle ne pourra pas dépasser. Il suffit, pour cela, de pratiquer sur le vase un orifice dont la section est telle que la quantité de vapeur produite, dans un

temps donné, soit égale à la quantité de vapeur écoulée par cet orifice, avec la vitesse correspondante à la différence des pressions intérieure et extérieure.

De ces faits on déduit deux principes, savoir :

1° *Il est possible de produire une pression déterminée sur une paroi d'un vase, en chauffant convenablement un liquide renfermé dans ce vase.*

2° *Il est possible de maintenir cette pression constante, en faisant écouler la vapeur par un orifice, et en communiquant au liquide des quantités de chaleur proportionnelles aux quantités de cette dernière qui s'écoulent.*

Ces deux principes renferment les éléments nécessaires pour constituer une force utilisable, savoir : une pression et une vitesse.

Cette force est utilisable soit par réaction, en permettant au générateur de prendre un mouvement en sens contraire de l'écoulement, soit directement, en recevant la pression de la vapeur sur une surface mobile, dans le même sens qu'elle.

Dans le premier cas, le mouvement est *continu*, et le travail produit par seconde est égal à la pression de la vapeur sur l'orifice d'écoulement, multipliée par la vitesse du générateur.

Dans le second cas, le mouvement est *alternatif* si la pression de la vapeur se manifeste constamment sur la même surface, parce qu'alors on la dirige tantôt d'un côté, tantôt de l'autre; *continu*, si le nombre des surfaces est plus grand que 1, auquel cas le mouvement est généralement *circulaire*. Le travail produit par seconde est alors égal à la pression sur la surface en contact, multipliée par la vitesse de l'une d'elles.

Ces principes, qui se posent aujourd'hui d'une manière si facile, et qui ont pu se vérifier à toutes les époques dans le chauffage de l'eau, non-seulement sont restés sans application pendant des temps très-longs, mais encore, bien que l'origine des machines à vapeur remonte à 130 ans avant J.-C., n'ont été mis en pratique réelle que depuis 80 ans au plus.

1° *Machine de Héron.*

Héron l'ancien, qui vivait à Alexandrie, sous le règne de Ptolémée Philadelphe, et se rendit célèbre par une foule de découvertes ingénieuses, eut le premier l'idée de la machine à réaction. Voici comment il l'exécuta :

A (*Pl.* XVII, *fig.* 1) est un générateur de vapeur, ou vase clos, rempli d'eau et chauffé par-dessous. Ce générateur communique par un tuyau B avec une sphère creuse C, au moyen d'un axe creux x, y, avec lequel elle a la faculté de tourner dans des coussinets, avec le moins de frottement possible.

Dans un des plans perpendiculaires à cet axe, sont deux coudes D, D' égaux, creux, opposés aux extrémités d'un même diamètre, et dirigés en sens contraire.

La vapeur, sortant du générateur, se rend par le conduit B dans la sphère creuse, et vient ensuite sortir par ces deux coudes.

En vertu du principe de la pression égale transmise par les fluides dans tous les sens, il se produit, sur la paroi de chaque coude opposée à l'orifice d'écoulement, un excès de pression précisément égal et opposé à la pression de la vapeur sur l'orifice lui-même. Si rien ne fait résistance à cette pression, elle agit comme accélératrice constante, et imprime aux coudes une vitesse de rotation sans cesse croissante. Si, au moment où cette vitesse est devenue égale à celle de sortie de la vapeur, on applique une résistance égale et opposée à cette pression, alors il y a équilibre, et, en vertu de l'inertie, les coudes continuent à se mouvoir autour de l'axe avec une vitesse égale à celle de la vapeur sortant; c'est-à-dire, que cette dernière est abandonnée dans l'espace avec une vitesse $= 0$. L'effet utile théorique est alors égal au travail dépensé, c'est-à-dire à la pression sur l'orifice multipliée par la vitesse d'écoulement.

Ainsi, cette machine, envisagée sous le point de vue théorique, donne 100 p. 100 d'effet utile, et est d'une exécution aussi simple que possible.

Malheureusement il n'en est plus de même pratiquement, parce que 1° la vitesse d'écoulement de la vapeur est si considérable, lorsque l'on veut avoir une pression sensible (537 mètres à 4 atmosphères intérieures), que les matériaux composant l'axe s'échauffent, grippent et cessent de fonctionner immédiatement; 2° quelque faibles que l'on parvienne à rendre la résistance de l'air et le frottement de l'axe dans les coussinets, cette résistance, rapportée au centre des orifices d'écoulement, est toujours plus considérable que la pression disponible.

Néanmoins, l'espoir de faire mieux, et souvent aussi la non connaissance des essais infructueux tentés auparavant,

ont fait revenir plusieurs fois, depuis Héron, cette ingénieuse machine sur le tapis; c'est ainsi qu'en 1785 un Allemand, nommé Kempel, proposa la machine à réaction représentée *Pl.* XVII, *fig.* 2; un Anglais, nommé Sadler, d'Oxford, obtint en 1791 un brevet pour une machine du même genre. Enfin, aujourd'hui, un constructeur américain, M. Avery, a substitué à la sphère creuse deux ailes renfermées dans une boîte en fonte qui porte la vapeur utilisée à l'extérieur par un tuyau. Nous avons vu deux machines de ce genre chez un mécanicien de Paris, M. *Philippe*: l'une d'elles avait un diamètre de 0.^{m}60 (1 pied 10 pouces); l'autre avait un diamètre de 1.^{m}50 (4 pieds 7 pouces) environ: toutes deux étaient dans un état d'abandon qui constatait suffisamment qu'elles n'avaient pas donné de bons résultats.

A notre avis, les essais des machines à réaction ont été mal dirigés, en ce sens que, puisque la pression motrice est très-faible, on devait choisir, pour les expérimenter, le cas où la résistance provenant des frottements est *minima* par rapport à la résistance utile. Or, on a précisément choisi le cas où la résistance des frottements est *maxima* par rapport à la résistance utile, c'est-à-dire, pour des forces de 1/2 à 1 cheval. Pour nous, s'il nous était possible de faire des essais sur ce genre de machine, nous n'hésiterions pas à calculer la nôtre pour une puissance de 100 chevaux, avec un diamètre de 10 mètres, correspondant, pour 4 atmosphères de pression intérieure, à une vitesse de 17 tours par seconde, ou 1,000 par minute, ce qu'un arbre bien graissé fait facilement sans s'échauffer. Alors, probablement, on commencerait à constater un résultat; et n'obtînt-on que 50 p. 100 d'effet utile, cette machine serait préférable aux machines actuelles, qui ne donnent pas toujours cela, et coûtent bien autrement cher.

Machine de Salomon de Caux.

Salomon de Caux, ingénieur français et grand mathématicien, conçut en 1624 l'appareil représenté *Pl.* XVII, *fig.* 3.

A est un générateur rempli d'eau, dans lequel plonge un tube B, aussi près que possible du fond, et s'élevant à une hauteur quelconque. Si l'on chauffe le générateur, la vapeur se porte dans la partie supérieure de l'appareil, communique sa pression à l'eau, qui réagit sur le tuyau et s'élève dans l'intérieur de ce dernier à une hauteur d'autant plus considérable que la pression intérieure est plus forte. Cet appareil

tout simple, qui est la solution du problème pour le cas où la résistance est appliquée directement en sens contraire de l'action de la vapeur, nous semble bien plus susceptible que la machine de *Héron* d'avoir ouvert les yeux sur la possibilité de tirer parti de la puissance de la vapeur d'eau ; car, quelque différence qu'il y ait entre lui et les machines actuelles, le mode d'action de la vapeur n'en est pas moins absolument le même. Suivons, en effet, les diverses inventions qui lui ont succédé, et nous reconnaîtrons facilement qu'elles n'en sont que des perfectionnements.

Machine du marquis de Worcester.

Cette machine (*Pl.* XVII, *fig.* 4) ne diffère uniquement de la machine de *de Caux* que par l'adjonction du réservoir B, dans lequel a lieu le travail de la vapeur, pour éviter d'élever inutilement de l'eau chaude. Les deux robinets *r* et *r'* donnent alternativement entrée à l'eau froide et à la vapeur dans le vase B.

Cette machine servit à sir Samuel Moreland, en 1680, pour déterminer le volume de vapeur donné par un volume d'eau à la pression ordinaire, et l'effet utile correspondant à la dépense de cette vapeur. Il trouva que 1 volume d'eau donnait 2,000 volumes de vapeur, au lieu de 1,700 qu'il donne réellement d'après les expériences de M. Gay-Lussac.

Machine de Savery.

Pendant que l'on recherchait, d'un côté, le moyen d'élever de l'eau au moyen de la force élastique de la vapeur, Denys Papin, de Blois, recherchait, du sien, le moyen de produire de la force en faisant le vide. Après avoir épuisé inutilement tous les procédés dont la mécanique peut disposer pour cet objet, il eut l'idée, en 1690, de chasser l'air de ses appareils au moyen d'une introduction de vapeur qu'il condensait ensuite par l'injection d'un filet d'eau.

C'est quelque temps après, en 1698, que Savery, capitaine de marine anglaise, conçut la machine représentée *Pl.* XVII, *fig.* 5. Cette machine, qui ne diffère de celle du marquis de Worcester qu'en ce que, au lieu d'un seul corps de pompe et une chaudière, il y a deux corps de pompe et deux chaudières, possédait en outre une application de la découverte de Papin, c'est-à-dire aspirait l'eau par suite d'une condensation opérée dans les corps de pompe, au lieu de la recevoir

de niveau supérieur, comme dans la machine du marquis de Worcester. Il est malheureux que ce dernier n'ait jamais exécuté son projet, car il n'aurait pas tardé à découvrir la condensation.

Quoiqu'il en soit, c'est la machine de Savery qui a d'abord été employée dans l'industrie; sa première application a été l'épuisement de l'eau des mines, et on peut dire qu'elle est venue à temps, car les frais que ce travail occasionait étaient devenus tellement considérables, que les exploitants se voyaient forcés de renoncer à descendre à de grandes profondeurs. Par la suite, elle fut employée comme moyen d'élévation d'eau, soit pour service d'usine, soit pour maisons de plaisance, etc. Il en existe encore une à Paris qui, sans doute, cessera bientôt de fonctionner; c'est celle de l'abattoir de Grenelle, que vient de supplanter le puits artésien foré en cet endroit.

Machine de Newcomen.

Papin, après avoir découvert la condensation, composa les machines d'un piston se mouvant dans un cylindre et élevant de l'eau au moyen de la pression atmosphérique sur un espace vide. La vapeur arrivait par-dessus, l'eau arrivait par-dessous. Cette machine, comme on le voit, ne différait de celle de Savery, qu'en ce qu'elle ne pouvait élever l'eau à plus de 8 ou 9 mètres, tandis que celle de Savery l'élevait à toute hauteur, si les appareils employés étaient suffisamment résistants. On peut dire même qu'à une époque, ces deux machines n'en firent plus qu'une seule et même, car Savery n'a jamais pu obtenir assez de résistance dans ses générateurs pour dépasser de beaucoup ce terme.

En 1705, Newcomen et Cawley, l'un serrurier, l'autre vitrier à Dartmouth, imaginèrent d'appliquer une tige au piston de Papin, et de transmettre la pression atmosphérique exercée sur ce dernier, au moyen d'un balancier. Pour cela, au lieu de faire arriver la vapeur en-dessus du piston, ils la firent arriver en-dessous. L'ingénieuse idée de rendre la résistance indépendante de la surface du piston, ce qui avait lieu dans les machines de Papin et Savery, leur permit d'élever de l'eau à des hauteurs considérables sans que la pression dans la chaudière augmentât le moins du monde. Il suffisait pour cela de satisfaire à la relation :

Surface du piston de la pompe multipliée par la hauteur de

la colonne d'eau pesant dessus, le tout multiplié par le poids de l'unité de volume d'eau égal à :

La surface du piston du cylindre à vapeur multipliée par le poids d'une atmosphère sur l'unité de surface, abstraction faite des frottements.

De là, la hauteur de la colonne d'eau augmentant, la surface du piston de la pompe diminuait.

La figure 6, *Pl.* XVII, représente une machine de Newcomen telle qu'on les exécutait à l'époque de leurs plus grands perfectionnements. Ces machines étaient nécessairement à simple effet. Au moment où on ouvrait la communication entre la chaudière et le cylindre, l'équilibre de pression s'établissant, il suffisait d'un excès de poids très-faible de l'autre côté du balancier pour faire remonter le piston.

Pour élever l'eau à des hauteurs supérieures à 10 mètres, on donnait aux tiges un poids égal à la charge de la colonne d'eau sur le piston de la pompe augmenté du poids nécessaire pour vaincre les frottements et pour rompre l'équilibre. L'action de l'air sur le piston avait donc seulement pour effet de soulever les tiges qui, retombant ensuite, faisaient monter l'eau.

Depuis la machine de Newcomen, de grands perfectionnements ont été apportés; mais tous ces perfectionnements n'ont pas détruit, comme pour les autres, le principe d'après lequel elle est construite, et elle restera toujours le type des *machines atmosphériques.*

Machines de Watt.

Les machines de Newcomen à condensation, d'abord par refroidissement extérieur du cylindre, ensuite par injection d'eau froide dans son intérieur, présentaient le grave inconvénient d'occasioner à chaque coup de piston une perte de chaleur assez notable qui était employée à réchauffer les parois refroidies du cylindre.

La première découverte que Watt fit, fut le *condenseur*, appareil destiné à éviter cet inconvénient en opérant la condensation en dehors du cylindre. C'est sur la machine de Newcomen qu'il en fit la première application. A ce perfectionnement en succéda un second, la *pompe à air*, destinée à remplacer l'évacuation de l'eau de condensation par un tuyau plongeant dans un puisard dont le niveau supérieur était à 10.^{m}32 (32 pieds) au-dessous du fond du cylindre. Le nom de

pompe à air fut donné à cette pompe, parce que l'on savait depuis longtemps que l'eau contenait en dissolution une certaine quantité d'air qui se dégageait par l'ébullition et venait ensuite détruire le vide du condenseur. Afin d'enlever cet air aussi complètement que possible, on donna au piston de cette pompe un diamètre considérable par rapport à celui qui était nécessaire pour n'enlever que l'eau; de là le nom de *pompe à air*.

Ces deux grands perfectionnements introduits dans la machine de Newcomen, Watt chercha à en généraliser l'emploi; ce fut alors qu'il imagina la machine à double effet, pouvant s'appliquer à la rotation d'une *manivelle* par l'intermédiaire d'une *bielle* adaptée à l'extrémité du balancier opposée au cylindre (*Pl.* XVII, *fig.* 7).

Enfin, en 1769, Watt mit la dernière main à l'emploi de la vapeur d'eau comme force motrice, en imaginant la *détente*. Depuis cette époque, tous les progrès qu'ont faits les machines à vapeur pour l'économie de la dépense correspondant à un travail déterminé, se sont renfermées dans l'exécution des appareils. Nous devons cependant une mention honorable à MM. Trewithick et Viviau, qui firent fonctionner, les premiers, la vapeur à haute pression en 1802.

Des diverses découvertes de Watt, il en est une d'une importance immense qui ne se propage qu'à pas lents; c'est la *détente*. La détente, bien que datant de 1769, n'a pas été appliquée au dixième des machines exécutées depuis cette époque, et c'est à peine si, aujourd'hui, elle existe dans la moitié des nouvelles machines qui s'exécutent tous les jours. Ce retard tient à deux causes prépondérantes qui sont :

1° La difficulté d'exécuter un appareil de détente satisfaisant;

2° La dépense notable qu'il entraîne avec lui par suite des dimensions plus fortes que doit avoir la machine et que l'acheteur ne se soucie pas de payer.

On est parvenu, à peu près, aujourd'hui, à dominer la première cause, soit par les doubles tiroirs, dans les petites machines, soit par les soupapes *Cornwall*, dans les grandes. Mais la deuxième restera toujours invariable dans les machines bien conçues. L'emploi de la détente apporte pourtant une économie si notable dans la dépense en combustible, que nous ne comprenons pas comment on exécute encore aujourd'hui des machines sans détente.

CHAPITRE II.

THÉORIE GÉNÉRALE DES MACHINES A VAPEUR.

ARTICLE Ier.

DIVISION DES MACHINES A VAPEUR.

Le but des moteurs, en général, appliqués à l'industrie, est de transmettre à la résistance qui leur est directement opposée, l'un des deux mouvements suivants :

1° Rectiligne alternatif,
2° Circulaire continu,

mouvements qui constituent cinq grandes spécialités, savoir :

1° Rectiligne alternatif.	Elévation d'eaux. Soufflleries à pistons.
2° Circulaire continu	Tourneries en général. Transports sur terre. Navigation.

L'application de la force élastique de la vapeur à ces différentes spécialités, s'effectue au moyen de cinq genres de machines différentes qui sont :

1° Les machines d'épuisement;
2° Les machines soufflantes;
3° Les machines à rotation;
4° Les machines locomotives;
5° Les machines de bateaux.

Ces machines peuvent être à simple et à double effet; néanmoins, elles se répartissent à peu près toutes ainsi :

1° A simple effet. . . .	Machines d'épuisement.
2° A double effet. . . .	Machines soufflantes. Machines à rotation. Machines locomotives. Machines de bateaux.

Chacun de ces genres de machines peut se diviser en quatre espèces, savoir :

Machines sans détente.	à condensation. sans condensation.
Machines à détente. . .	à condensation. sans condensation.

Il existe, en outre, différents systèmes de construction qui, pour la plupart, portent les noms de leurs inventeurs, et peuvent se classer ainsi :

1re *classe.* Cylindre fixe. . .	vertical, incliné, horizontal.
2e *classe.* Cylindre oscillant	vertical, incliné, horizontal.

Première classe.

Quand le cylindre est *vertical*, la transmission du mouvement a lieu par l'intermédiaire de :

1° Un balancier, une bielle et une manivelle;

2° Une bielle et une manivelle seulement.

Quand le cylindre est *incliné* ou horizontal, la transmission du mouvement a lieu par l'intermédiaire de :

Une bielle et une manivelle seulement.

Deuxième classe.

Dans les trois cas, la transmission de mouvement a lieu par l'intermédiaire de :

Une manivelle seulement.

Pour chacune des classes, la manivelle indique la transmission du mouvement rectiligne alternatif du piston en circulaire continu. La deuxième classe n'est donc pas applicable aux transmissions rectilignes alternatives.

ARTICLE II.

CALCULS DES MACHINES A SIMPLE EFFET.

§ 1er. — MACHINES ATMOSPHÉRIQUES.

Soient :

D le diamètre du piston;

N le nombre de coups de piston par minute;

C la course du piston;

K le coefficient de l'effet utile par rapport à la dépense.

La surface du piston est égale à :

$$0.785\ D^2.$$

La pression de l'atmosphère, sur un mètre quarré de surface, est :

$$10.330 \text{ kilogr.}$$

La pression de l'atmosphère sur le piston est donc :

$$10.330 \times 0.785\, D^2$$

La course étant C, le travail dépensé pendant la descente du piston est :

$$10.330 \times 0,785\, D^2\, C \text{ kilogrammètres.}$$

Le nombre de coups de piston par minute étant N, le travail produit par minute est :

$$10.330 \times 0.785\, D^2\, CN \text{ kilogrammètres,}$$

et par seconde :

$$\frac{10.330 \times 0,785\, D^2\, CN}{60}$$

La force d'un cheval étant 75 kilogrammètres par seconde, si F' représente la force, en nombre de chevaux, dépensée, on a :

$$F' = \frac{10.330 \times 0.785\, D^2\, CN}{60 \times 75}$$

Si F est l'effet utile en chevaux, on a :

$$F = KF'$$

D'où la formule générale :

$$F = \frac{K \times 10.330 \times 0.0785\, D^2\, CN}{60 \times 75} = 1.8\, KD^2\, CN \quad (a)$$

Si l'on ne veut avoir que le travail correspondant à une dépense P, en poids de vapeur par seconde, on pose :

$$\frac{CN}{60} = v, \text{ vitesse par seconde.}$$

Or on a : $v \times 0.785\, D^2 = V$, volume dépensé par seconde;

d'où : $$\frac{0.785\, D^2\, CN}{60} = V$$

et : $$F = K \times 10.330\, \frac{V}{75} = 137.8\, KV.$$

V est le volume correspondant au poids P.

§ 2. — MACHINES A VAPEUR.

Ces machines, généralement à condensation, sont à détente

ou sans détente. Elles sont, comme les premières, spécialement employées pour mouvoir des pompes. La figure 11, *Pl.* XVIII, représente l'ensemble d'une machine de ce genre employée dans les mines de Bruilles (Nord). La distribution se fait au moyen de soupapes à déclic, qu'ouvrent et ferment des manettes mises en mouvement par la tige de la pompe à air, ou, comme dans la figure, la tige du piston d'une *cataracte.* La cataracte est un appareil destiné à modérer le nombre des coups de piston, suivant la quantité d'eau à extraire par minute.

Soient, comme précédemment :

D le diamètre du piston ;
C la course du piston;
N le nombre de coups de piston par minute;
n le nombre d'atmosphères de pression de la vapeur entrant dans le cylindre.

1° *Sans détente.* On a, dans ce cas, $n = 1$, et la formule du travail est la même que celle pour les machines atmosphériques, savoir :

$$F = 1.8\, K D^2 C N \quad \ldots\ldots \quad (b)$$

2° *A détente.* Nous démontrerons plus loin que le travail pendant la détente est égal au travail avant la détente, multiplié par :

$$\text{Log.}\ \frac{C}{z}\ 2.3026$$

z étant la portion de la course pendant laquelle la vapeur est introduite; on a donc :

Travail théorique avant la détente $= 1.8\ D^2\ zN.$

Travail théorique pendant la détente $= 1.8\ D^2\ zN\ \log.\ \frac{C}{z}\ 2.3026$

Travail théorique total :

$$F' = 1.8\ D^2 zN \left(1 + \log.\ \frac{C}{z}\ 2.3026\right)$$

Travail pratique total en chevaux :

$$F = 1.8\ KD^2 zN \left(1 + \log.\ \frac{C}{z}\ 2.3026\right) \quad .\ .\ (c)$$

Si la pression est plus grande que l'atmosphère, alors le facteur 10330 se trouve remplacé par celui :

$$10330\, n.$$

$$F = 1.8\, K D^2 z N n \left(1 + \log.\ \frac{C}{z}\ 2.3026\right) \ldots (d)$$

Si on veut avoir égard à la pression de la vapeur dans le condenseur, laquelle est, au *maximum*, égale à $^1/_8$ d'atmosphère, soit $^{10330}/_8$ par mètre quarré, on a :

$$F = 1.8\, K D^2 z N n \left(1 + \log.\ \frac{C}{z}\ 2.3026 - \frac{C}{8 z n}\right) \quad (e)$$

car le travail absorbé par cette résistance, pendant le mouvement du piston, est égal en chevaux à :

$$\frac{0.785\, D^2\, C N\, 10330}{60 \times 75 \times 8} = 1.8\, D^2\, CN\, ^1/_8$$

$$= 1.8\, D^2 z N n\, \frac{C}{8 z n} \quad (f)$$

le coefficient K ne portant que sur la différence entre le travail total produit et le travail absorbé par la pression dans le condenseur.

ARTICLE III.

CALCULS DES MACHINES A DOUBLE EFFET.

Dans les machines à double effet, on distingue :

1° Les machines à condensation sans détente;
2° Les machines sans condensation ni détente ;
3° Les machines à condensation et détente;
4° Les machines sans condensation à détente.

La seule différence qui existe, pour le calcul, entre les machines à simple effet et les machines à double effet, c'est que N étant le nombre de révolutions de la manivelle par minute, le nombre de coups de piston dans la machine à double effet est 2 N.

§ 1er. — MACHINES A CONDENSATION SANS DÉTENTE.

On a : $F = 1.8\, K D^2\, C\, 2\, N\, (n - {}^1/_8)$

$n - {}^1/_8$ étant la pression exacte sur le piston en atmosphères; on en déduit :

$$F = 3.6\, K D^2\, CN\, (n - {}^1/_8) \ldots \ldots \ldots (g).$$

§ 2. — MACHINES SANS CONDENSATION NI DÉTENTE.

Dans ce cas n est remplacé par $n - 1$, à cause de la pression de l'atmosphère en sens contraire du piston, et on a :

$$F = 3.6 \text{ K D}^2 \text{ C N } (n-1) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (h).$$

§ 3. — MACHINES A DÉTENTE.

Soient A B (*Pl.* XVII, *fig.* 8) la course du piston ; A C la portion de cette course, pendant laquelle la vapeur est introduite dans le cylindre ; A E la pression de la vapeur au commencement de la course du piston.

Le travail total produit avant la détente est égal au produit du chemin parcouru par le piston, par la pression, c'est-à-dire au rectangle A C D E.

A partir du point C, la pression diminuant, le travail produit à chaque instant est égal au chemin parcouru dans cet instant multiplié par la pression correspondante ; si on suppose que la pression diminue graduellement, le travail produit par la somme des petits avancements égaux compris entre les points C et B, est égal à la somme des petits rectangles compris entre les deux lignes C D et B F.

Admettant les points de division infiniment rapprochés, on obtient la surface C B F D, comprise entre la droite C B et la courbe F D.

Admettant également que les pressions décroissantes sont en raison inverse des volumes, comme pour les gaz, et que l'on a, pour un volume quelconque, $V' = Ay \times 0.785\ D^2$, il vient :

$$AC \times 0.785\ D^2 : Ay \times 0.785\ D^2 :: h' : CD$$

et :

$$h' = \frac{CD \times AC}{Ay}$$

Faisant :
$$h' = y$$
$$Ay = x$$

il vient :
$$xy = CD \times AC = C$$

C étant une constante.

$xy = C$ est l'équation d'une hyperbole rapportée à ses asymptotes.

La courbe DF est donc une branche d'hyperbole.

On obtient la surface CBFD par la formule générale :

$$S = \int y\,dx$$

Or : $$y = \frac{C}{x},$$

donc :

$$S = \int \frac{C\,dx}{x} = C \int \frac{dx}{x} = C \log. x + \alpha$$

pour $x = AC$ $S = 0$; d'où :

$$0 = C \log. AC + \alpha$$

et : $$\alpha = - C \log. AC$$

On en déduit : $S = C\,(\log. x - \log. AC)$

$$S = C \log. \frac{x}{AC} = CD \times AC \log. \frac{x}{AC}$$

$$= ACDE \log. \frac{x}{AC}$$

Faisant $x = AB$, il vient :

$$S = ACDE \log. \frac{AB}{AC}$$

or, on a : $$AB = C$$
$$AC = z$$
$$S = ACDE \log. \frac{C}{z}$$

Log. $\frac{C}{z}$ est un logarithme népérien; pour exprimer S en fractions d'un logarithme dont la base est 10, il faut multiplier par 2.3026, et il vient :

$$S = ACDE \log. \frac{C}{z}\ 2.3026$$

Le travail se trouve alors être :

$$T = ACDE \left(1 + \log. \frac{C}{z}\ 2.3026\right)$$

Remplaçant ACDE par le produit AC × CD, c'est-à-dire : $z \times n \times 10330^k \times 0.785\,D^2$
il vient :

$$T = 0.785\,D^2 zn \times 10330 \left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026\right)$$

1° Machines à condensation.

La pression dans le condenseur étant $^1/_8$ 10330 kilog. par mètre quarré, la pression en sens contraire du piston est :

$$^1/_8\ 10330 \times 0.785\,D^2$$

et le travail absorbé par la résistance de la vapeur du condenseur, pendant une course, est :

$$^1/_8\ 10330 \times 0.785\,D^2 C$$

d'où :

$$T = 0.785\,D^2 zn \times 10330 \left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026 - \frac{C}{nz}\,^1/_8\right)$$

et par seconde :

$$T = \frac{0.785\,D^2 zn \times 10330 \times 2N\left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026 - \frac{C}{8nz}\right)}{60}$$

et en chevaux pratiques :

$$F = \frac{0.785\,KD^2 zn \times 10330 \times 2N\left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026 - \frac{C}{8nz}\right)}{60 \times 75}$$

$$F = 3.6\,KD^2 zn\,N\left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026 - \frac{C}{8nz}\right) \quad (h)$$

2° Machines sans condensation.

Dans ces machines, il faut remplacer le terme négatif $^1/_8$ 10330 × 0.785 D²C par 10330 × 0.785 D²C, résistance de l'air en sens contraire du piston, et on a :

$$F = 3.6\,KD^2 zn\,N\left(1 + \log.\frac{C}{z}\,2.3026 - \frac{C}{z}\,\frac{1}{n}\right) \quad (i)$$

CHAPITRE III.

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE MACHINES A VAPEUR.

Nous diviserons les machines en trois espèces ; savoir :

Les machines fixes ;
Les machines de navigation ;
Les machines locomotives.

ARTICLE Ier.

MACHINES FIXES.

A part les quatre genres de machines dérivant de la présence ou de l'absence de la condensation et de la détente, on distingue plusieurs systèmes de machines dont les dispositions sont plus ou moins applicables, suivant la position de l'arbre auquel il faut communiquer le mouvement.

On distingue trois positions de l'arbre de transmission du mouvement du moteur, savoir :

1° Arbre situé près du sol ;
2° Arbre situé à une moyenne distance du sol ;
3° Arbre situé à une grande distance du sol.

On distingue, d'autre part, trois états principaux du cylindre ; savoir :

1° Cylindre fixe ;
2° Cylindre oscillant ;
3° Cylindre tournant.

Chacun de ces états du cylindre a donné lieu à divers systèmes de machines, dont plusieurs sont applicables dans les mêmes cas, puisqu'il n'y a que trois cas bien tranchés ; mais dont les uns sont préférables aux autres, soit parce qu'ils sont plus légers, soit parce qu'ils sont plus transportables, ou réciproquement.

Nous allons examiner ces diverses circonstances.

§ 1er. — ARBRE SITUÉ PRÈS DU SOL.

1° *Cylindre fixe*. Le cylindre fixe s'emploie, pour ce cas, soit vertical, soit horizontal.

Lorsqu'il est vertical, il donne lieu soit à la machine à balancier (*Pl.* XVII, *fig.* 7), système de *Watt*, soit à la machine système de *Maudslay* (*fig.* 9).

Lorsqu'il est horizontal, il donne lieu soit à la machine système *Taylor* et *Martineau* (*fig.* 10), soit à la machine système du Creusot, beaucoup plus légère et à tiroirs.

2° *Cylindre oscillant.* Le cylindre oscillant s'emploie, pour ce cas, horizontal seulement. Il donne alors lieu soit à la machine système *Cavé*, dans laquelle le cylindre oscille sur un axe creux passant par son milieu, et distribuant par deux tiroirs situés près des lumières ; soit à la machine système *Jullien* (*Pl.* XVIII, *fig.* 12 et 13), imitée du système *Leloup*, et pouvant s'appliquer principalement aux locomotives.

3° *Cylindre tournant.* Le cylindre tournant s'emploie pour tous les cas, en ce sens qu'il tourne sur le même axe que l'arbre auquel il transmet le mouvement de rotation : c'est le système *Romancé* (*fig.* 14 et 15), exploité actuellement par *Barraud* et compagnie.

Il en est un, système *Jullien* (*fig.* 16), qui ne peut recevoir d'application que pour l'arbre situé près du sol. Ce système diffère du précédent, en ce que la transmission du mouvement provient uniquement de l'excentricité des deux axes, sans galets ni courbes.

§ 2. — ARBRE SITUÉ A UNE PETITE DISTANCE DU SOL.

1° *Cylindre fixe.* Le cylindre fixe s'emploie, dans ce cas, soit vertical, soit incliné. Lorsqu'il est vertical, il donne lieu à la machine système *Pauwels*, dans laquelle le centre de l'arbre se trouve au niveau de la partie supérieure de la tige du piston au milieu de sa course.

2° *Cylindre oscillant.* Le cylindre oscillant s'emploie, dans ce cas, vertical, et donne lieu soit à la machine système *Cavé*, soit aux machines systèmes *Leloup*, *Kientzy*, *Frey*, *Galafant*, oscillant autour d'un axe placé au-dessous du cylindre; soit à la machine système *Fèvre*, oscillant comme les précédentes, mais dans un genou sphérique.

Dans tous ces systèmes, la hauteur du centre de l'arbre est la même que celle de ce centre dans la machine *Pauwels*, c'est-à-dire au niveau de l'extrémité supérieure de la tige du piston, au milieu de sa course.

§ 3. — ARBRE SITUÉ A UNE GRANDE HAUTEUR.

1° *Cylindre fixe.* Dans ce cas, le cylindre fixe donne lieu soit à la machine à balancier, dans laquelle on retourne la bielle; soit à la machine verticale, systèmes *Imbert*, *Bourdon*, *Meyer*, *Giraudon*, etc., dans lesquelles la jonction de la tige du piston à l'arbre s'effectue au moyen d'une bielle plus ou moins longue et une manivelle.

2° *Cylindre oscillant.* Ce mode de construction n'est pas régulièrement applicable dans ce cas; mais il s'y applique néanmoins, en portant le niveau du sol de la machine à une hauteur suffisante pour ramener le problème au cas de l'arbre situé à une petite distance du sol.

Quant au cylindre tournant, il est applicable, comme nous l'avons déjà dit, à tous les cas, parce que, comme ci-dessus, on peut élever le sol de la machine.

En thèse générale, il est toujours plus convenable de conserver pour le sol de la machine le sol même de la localité; mais il arrive souvent que l'on commande à un mécanicien qui ne fait qu'un système, une machine qui, d'après la disposition des lieux, en demande un autre; le mécanicien, pour avoir la commande, modifie le montage, et trouve ainsi le moyen de faire adopter le sien.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des motifs qui rendent chaque disposition de machine plus spécialement propre à une position de l'arbre de transmission de mouvement qu'aux deux autres; nous allons maintenant les envisager sous le point de vue de la force.

1° *Machines à cylindre fixe.* Ces machines sont celles qui conviennent le plus pour de grandes forces à transmettre. Les machines à balancier, par exemple, ne présentent pas plus d'inconvénient à être construites suivant des dimensions susceptibles de produire cinq cents chevaux de force, que pour produire douze chevaux seulement; la disposition de l'entablement seule change, mais c'est toujours la même machine avec tous ses avantages et inconvénients.

La machine système *Maudslay*, au contraire, est très-limitée. Plus elle est forte, plus la courbe est grande, plus les guides de la tige du piston sont élevés, et plus, par conséquent, elle est susceptible d'entrer en vibration, par suite de la pression successive des bielles, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre.

Il existe à Paris un très-grand nombre de machines de ce système; les mécaniciens qui s'adonnent spécialement à leur construction sont : MM. *Moulfarine* et *Saulnier* (Popincourt); eh bien, le plus grand nombre d'entre elles sont entre huit et vingt chevaux; c'est-à-dire douze et seize.

En effet, il n'est guère possible de dépasser avec ces machines la force de vingt chevaux.

Les machines verticales transmettant le mouvement à un arbre situé à une grande hauteur au-dessus du cylindre, ne

supportent pas non plus de grandes forces, à moins que la machine ne soit reliée aux planchers supérieurs; néanmoins ce sont les plus convenables, quand ce cas se présente.

Les machines système *Pauwels* sont les plus convenables pour transmettre le mouvement à un arbre situé à une petite hauteur au-dessus du sol; mais, comme les machines *Maudslay*, elles ne peuvent supporter de grandes forces, à cause des guides qui s'élèvent aussi en proportion de la course. Nous avons vu des machines de ce genre, fonctionnant très-bien, avec les dimensions convenables pour faire la force de trente chevaux; mais nous considérons cette force comme la limite supérieure.

Les machines horizontales, quel qu'en soit le système, peuvent parfaitement s'exécuter pour toutes les forces possibles; seulement elles présentent un grave inconvénient, à savoir: d'occuper en longueur une place considérable. On peut, dans certains cas, diminuer cette longueur d'un tiers, en mettant deux bielles, comme dans la machine *Maudslay*, qui reviennent communiquer le mouvement à l'arbre situé derrière le cylindre, au lieu d'une seule allant directement de l'extrémité de la tige du piston à l'arbre. Quand il n'y a qu'une seule bielle, ces machines peuvent s'employer jusqu'à vingt chevaux, auquel cas elles occupent une longueur de six mètres; dans le second cas, elles peuvent être poussées aussi loin que l'on veut; mais alors elles ne sont plus portatives, et tout autre système leur est préférable; car ce qui les fait principalement adopter, c'est la simplicité de leur montage et leur peu de poids.

2° *Machines oscillantes.* Les machines oscillantes, quel qu'en soit le système, ne conviennent que pour de petites forces. Néanmoins, nous voyons que l'on n'a pas craint d'en faire usage pour de très-grandes forces à transmettre. Ainsi, il existe à Saint-Denis, chez M. David, une machine oscillante, système *Cavé*, de la force de soixante chevaux; le cylindre, il est vrai, oscille horizontalement; et il n'y a pas d'ébranlement possible. Mais comme, pour cette force, il y a toujours avantage à condenser, il a fallu, pour mouvoir la pompe à air et les autres pompes, adapter un balancier et une bielle à la manivelle; d'où nous concluons qu'une machine à balancier eût été infiniment plus convenable, car elle n'aurait pas tenu plus de place.

Il existe à la Villette, chez M. Lombard, une machine, système *Leloup*, de vingt chevaux. Quelqu'ingénieux que soit ce système, nous pensons qu'à cette force, il n'est pas aussi con-

venable, à beaucoup près, que pour des forces au-dessous de dix chevaux.

En résumé, nous pensons que les machines oscillantes, système *Cavé*, c'est-à-dire oscillant autour d'un axe passant par le milieu du cylindre, peuvent être convenables jusqu'à vingt-cinq chevaux ; que celles oscillant autour d'un axe situé à l'extrémité inférieure du cylindre, sont convenables jusqu'à douze chevaux.

Nous ne parlerons pas des machines dont le cylindre tourne avec l'axe ; elles sont encore dans l'enfance, et leur meilleure application est, à notre avis, ailleurs que sur terre.

Conclusion.

Pour des forces comprises entre un cheval et six chevaux, on peut employer avec avantage les systèmes suivants :

	Position de l'arbre.
Machine verticale de Imbert, Bourdon, Meyer, Giraudon, etc.	3e cas.
Machine horizontale du Creusot . . .	1er cas.
Machine oscillante de Cavé.	les deux 1ers cas.
Machines oscillantes de Leloup, Fèvre, Frey, Kientzy, Galafant, etc., avec ou sans détente, sans condensation.	2e cas.

Pour des forces comprises entre six et douze chevaux, on peut employer avec avantage les systèmes suivants :

Machine verticale de Maudslay, Moulfarine, Saulnier (Popincourt), avec ou sans détente et condensation.	1er cas.
Machine verticale de Pauwels, détente sans condensation.	2e cas.
Machine verticale de Imbert, Bourdon, Meyer, Giraudon, etc., détente sans condensation.	3e cas.
Machine horizontale du Creusot, avec ou sans détente, sans condensation. . .	1er cas.
Machine oscillante de Cavé, sans détente ni condensation.	les deux 1ers cas.
Machine oscillante de Leloup, avec ou sans détente, sans condensation.	2e cas.

Pour des forces comprises entre douze et vingt-cinq chevaux :

Machine à balancier, détente et condensation.	1er cas.

Machine verticale de Maudslay, Moulfarine, Saulnier (Popincourt), avec ou sans détente et condensation, jusqu'à 16 chevaux. . 1er cas.
Machine verticale de Pauwels, détente sans condensation. . . . . 2e cas.
Machine verticale de Bourdon, détente sans condensation, à parallélogramme. . . 3e cas.
Machine horizontale du Creusot, avec ou sans détente sans condensation, jusqu'à 16 chevaux. . . . . 1er cas.
Machine oscillante de Cavé, sans détente ni condensation. . . . . les deux 1ers cas.

Pour des forces au-dessus de vingt-cinq chevaux :

Machine Pauwels, jusqu'à 30 chevaux, détente sans condensation. . . . . 2e cas.
Machine à balancier, avec détente et condensation. . . . . 1er cas.
Machine horizontale de Maudslay, Moulfarine, etc., détente avec ou sans condensation. 1er cas.
Machine verticale Bourdon, détente sans condensation. . . . . 3e cas.

ARTICLE II.

MACHINES DE NAVIGATION.

Dans ces machines, l'arbre à mettre en mouvement est toujours situé à une petite distance du sol, eu égard aux dimensions de l'appareil moteur, et la machine n'a de point d'appui que dans le sol même sur lequel elle est établie.

Il résulte de cette définition que ce sont celles des machines propres au second cas des positions de l'arbre, qui n'ont d'autre point d'appui que le sol, qui conviennent pour la navigation; ainsi les machines *Pauwels*, les machines oscillantes, les machines inclinées à bielle et manivelle intermédiaires entre les machines horizontales et les machines verticales.

Bien que toutes ces machines aient été employées, plus ou moins, pour la navigation, ce ne sont pas elles cependant qui dominent dans ce genre d'application de la force motrice de la vapeur.

En effet, l'eau étant forcément en abondance et à portée, il y a avantage à condenser; de plus, les forces employées étant rarement au-dessous de trente chevaux, en deux machines, et s'élevant jusqu'à cinq cents et même mille chevaux, il y a in-

convénient à employer, pour tous les cas, les machines ci-dessus qui ne condensent pas, à proprement parler, et dont l'efficacité est douteuse au-delà de trente chevaux, à l'exception de la machine inclinée, qui, comme ses semblables, la verticale et l'horizontale, peut s'appliquer à toute force.

La machine à balancier devait donc obtenir la préférence, si on trouvait un moyen de fixer convenablement le balancier. A cet effet, on a imaginé de remplacer le balancier unique situé en haut, par deux balanciers placés à la partie inférieure de la machine, et communiquant à deux bielles disposées comme dans la machine Maudslay, ces balanciers venant ensuite se relier à la bielle principale au moyen d'une traverse. De cette manière, on a pu et condenser et transmettre toute espèce de force.

La figure 17 (*Pl.* XIX) représente une disposition de ce genre appliquée au *British Quenn*, bâtiment à vapeur anglais de la force de cinq cents chevaux en deux machines. La section du bâtiment, à l'endroit des machines, est presque un rectangle ayant 13 mètres (40 pieds) de large, sur 10 mètres (31 pieds) de haut.

Les machines à balancier, employées dans la navigation, bien que munies de bielles, manivelles et arbres en fer, ne sont pas cependant d'une excessive solidité. Cela tient principalement à l'emploi des deux balanciers, qui, pour peu qu'il y ait de gauche dans le mouvement de rotation de la manivelle ou dans le parallélogramme de la tige du piston, se contrarient et finissent par faire rompre la bielle ou toute autre partie qui met la machine hors de service.

D'un autre côté, ces appareils sont lourds et occupent une assez grande place.

M. Maudslay a essayé de transmettre directement le mouvement du piston à la manivelle, au moyen d'une bielle oscillant dans un cylindre plat et creux, faisant fonction de tige dans le stuffing-box; nous ignorons quel a été le résultat de cet essai, mais nous pensons qu'il a dû beaucoup alléger le bâtiment et diminuer considérablement les chances de rupture des pièces.

Nous avons émis plus haut l'opinion que les machines système *Romancé* trouvaient une application plus heureuse ailleurs que sur terre; nous avons voulu désigner par là la navigation. En effet, ce sera, à notre avis, un très-beau problème résolu, si on peut parvenir à les construire assez bien pour qu'elles puissent fonctionner sur un bateau; car, alors, on n'aura aucune pièce susceptible de casser et mettre les machi-

nes hors de service, ce qui est très-appréciable pour les voyages de long cours. Au lieu de deux machines, on en mettra trois, cinq, sept, dont le volume sera d'autant plus petit, à force égale, que le nombre sera plus considérable. Ces machines pèsent très-peu, et il suffit, pour les maintenir en place, de deux fortes pièces en bois, traversant le bâtiment de part en part; on pourrait donc circuler au-dessous. Il faudrait, pour que ce système se perfectionnât convenablement, qu'il fût entre les mains d'un mécanicien riche en outils et habile, comme M. Cavé, par exemple, et il ne tarderait pas à donner des résultats significatifs.

A trois cylindres au moins, il serait inutile d'employer les galets agissant pendant tout le demi-tour; des glissoirs agissant pendant un quart ou un cinquième de tour, le piston restant ensuite stationnaire, suffiraient. C'est dans la distribution principalement que gît toute la difficulté d'exécution.

ARTICLE III.

MACHINES LOCOMOTIVES.

Nous avons fait un Manuel traitant spécialement de ce genre de moteur; nous craindrions de nous répéter inutilement, si nous abordions ce sujet dans le présent ouvrage. Tout ce que nous pouvons faire ici c'est de constater les perfectionnements qui ont été introduits dans la construction de ce moteur depuis l'époque où nous avons publié l'ouvrage susmentionné.

En ce qui concerne la disposition générale des machines, peu de changements ont été apportés; les chaudières à foyer intérieur et à tubes sont encore et seront toujours le meilleur appareil de vaporisation pour ce moteur. La longueur de la partie cylindrique, autrefois de 2.m20, a été portée à 3.m50. Les cylindres, comme nous le prévoyions il y a quatre ans, ont été replacés sur les côtés de la boîte à feu, du moins dans les machines du chemin de Rouen, dont les résultats ont été des plus satisfaisants, quant à présent, sous le rapport de la marche.

Des essais pour appliquer la détente ont donné d'assez bons résultats; c'est la détente à simples ou doubles tiroirs qui a été employée dans tous les cas.

On a proposé, pour économiser le combustible, d'augmenter la surface de chauffe directe en brûlant le coke à flamme renversée et en chargeant par en haut; de cette manière le coke garnit toute la boîte à feu jusqu'à 50 centimètres au-dessus

des tubes, ce qui les expose à se boucher et à se brûler à l'endroit des virolles. Il y a néanmoins quelque chose dans cette idée qui a besoin d'être muri.

Nous donnons (*fig.* 18, 19, 20, *Pl.* XIX) un détail de la machine système *Bury*, dont la construction diffère de toutes les autres, et dont l'usage, loin de diminuer, se perpétue tous les jours en Angleterre, à cause de sa grande solidité.

Nous avons représenté (*Pl.* XVIII, *fig.* 12 et 13) une application de la machine oscillante aux machines locomotives. Comme le représente la figure, la distribution s'effectue sans l'intermédiaire d'excentriques, ce qui est toujours un avantage, et le changement de marche s'effectue au moyen d'un tiroir (*fig.* 13).

Nous ne parlerons pas du transport par machines fixes faisant le vide dans un tuyau, ce genre de locomotives étant trop nouveau pour qu'il y ait lieu à le critiquer, quelqu'inapplicable qu'il paraisse. Ce que nous pouvons dire seulement, c'est qu'il y a encore bien des locomotives à user avant que ce système de transport supplante son prédécesseur, et que, partout, on peut sans crainte s'adonner à l'application de toutes les inventions qui ont pour but l'amélioration des locomotives actuelles.

CHAPITRE IV.

THÉORIE SPÉCIALE DES MACHINES A VAPEUR.

Sous ce nom, nous comprenons l'examen des rapports qui doivent exister entre les diverses parties qui composent une machine pour que ces parties satisfassent à toutes les conditions de puissance, de stabilité et de régularité dans leur marche, nécessaires à l'accomplissement du travail qu'elles ont à effectuer.

Nous avons vu précédemment qu'il existe, d'une part, quatre espèces distinctes de machines pour utiliser la force élastique de la vapeur; d'autre part, quatre modes principaux d'application de la vapeur comme force motrice. Nous allons maintenant établir les relations qui doivent exister entre les différentes parties tant d'une même machine que des différentes espèces de machines que nous pourrons envisager pour transmettre une même quantité d'effet utile dans le même temps.

Toute la puissance d'une machine bien confectionnée dépend de la quantité de vapeur qu'elle dépense dans l'unité de temps. Cette quantité est exprimée par la pression de la vapeur,

le diamètre du piston, sa vitesse et le point de détente. Pour une même force transmise à un même genre de travail, une de ces quantités, la vitesse, est invariable, parce qu'elle dépend de la nature des dimensions et de la combinaison des pièces qui composent la machine. La première opération consiste donc à établir un rapport entre les diamètres des pistons et les pressions suivant les différents degrés de détente.

SECTION PREMIÈRE.

DIAMÈTRES RELATIFS DES PISTONS.

Les quatre espèces de machines étant :
1° Sans détente à condensation;
2° Sans détente ni condensation;
3° A détente et condensation;
4° A détente sans condensation.

Nous avons dit que dans les machines sans détente mais à condensation, dites à basse pression, la pression de la vapeur est constamment prise égale à celle de l'atmosphère, c'est-à-dire à 10.^{m}32 d'eau. Nous avons dit, en outre, que dans les trois autres espèces, dites à haute pression, la pression de la vapeur est généralement prise entre quatre et six fois la pression atmosphérique, c'est-à-dire 41.^{m}28 et 61.^{m}92 d'eau.

Prenant les quatre formules du travail en kilogrammètres en fonction du volume de vapeur dépensé :

$$T_m = K \quad V \times 10.32 \times 1000^k$$

$$T'_m = K' \quad V' \quad (h - 10.32) \times 1000^k$$

$$T''_m = K''V''h\left(1 + \log.\frac{v}{z} 2.3026 - \frac{v}{z}\frac{10.32}{16h}\right) \times 1000^k$$

$$T'''_m = K'''V'''h\left(1 + \log.\frac{v}{z} 2.3026 - \frac{v}{z}\frac{10.32}{h}\right) \times 1000^k$$

les quantités T_m étant les mêmes pour toutes, nous donnerons, par approximation, aux quantités K, K', K'', K''' les valeurs relatives suivantes, que l'expérience n'a pas encore déterminées exactement :

K = 1.0
K' = 1.2
K'' = 1.0
K''' = 1.1

et considérant successivement les trois valeurs de h, nous allons déterminer les rapports qu'elles donnent entre les diamètres des pistons, celui de la machine sans détente à condensation étant pris pour unité.

ARTICLE Ier.

$h = 41.28.$

§ 1er. — MACHINE SANS DÉTENTE NI CONDENSATION.

$$V = 0.785\ D^2 \times v$$
$$V' = 0.785\ D'^2 \times v$$

Faisant $T_m = T'_m$,

il vient : $D^2 \times 10.^m32 = 1.2\ D'^2 \times 30.^m96$

d'où : $D'^2 = 0.2775\ D^2$

et : $D' = 0.526\ D. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (A)$

§ 2. — MACHINE A DÉTENTE ET CONDENSATION.

Le point de détente le plus élevé que l'on puisse adopter sans craindre la non-réussite est le $^1/_8$ de la course, on a donc :

$$z = {}^1/_8\ v$$

et : $V = 0.785\ D^2 \times v$

$V'' = 0.785\ D''^2 \times {}^1/_8\ v$

$D^2 \times 10.32 = {}^1/_8 D''^2 \times 41.28\ (1 + \log.8 \times 2.3026 - 8 \times {}^1/_{64})$

d'où : $D''^2 = 0.675\ D^2$

et : $D'' = 0.82\ D. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B)$

§ 3. — MACHINE A DÉTENTE SANS CONDENSATION.

Le point de détente le plus convenable est le quart de la course, on a donc :

$$z = {}^1/_4\ v$$

et : $v = 0.785\ D^2 \times v$

$V''' = 0.785\ D'''^2 \times {}^1/_4\ v$

$D^2 \times 10.32 = 1.1 \times {}^1/_4 D'''^2 \times 41.28 (1 + \log.4 \times 2.3026 - 4{}^1/_4)$

d'où : $D'''^2 = 0.655\ D^2$

et : $D''' = 0.81\ D. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (C)$

ARTICLE II.

$h = 51.60$

§ 1er. — MACHINE SANS DÉTENTE NI CONDENSATION.

$$V = 0.785\ D^2 \times v$$
$$V' = 0.785\ D'^2 \times v$$

$$D^2 \times 10.^m32 = 1.2\, D'^2 \times 41.28$$

d'où : $D'^2 = 0.208\, D^2$

et : $D = 0.456\, D$ . . . . . . (D)

§ 2. — MACHINE A DÉTENTE ET CONDENSATION.

Nous conserverons $z = \frac{1}{8}\, v$.

$$V = 0.785\, D^2 \times v$$
$$V'' = 0.785\, D''^2 \times \frac{1}{8}\, v$$

$$D^2 \times 10.52 = \frac{1}{8} D''^2 \times 51.60\, (1 + \log. 8 \times 2.5026 - 8 \times \frac{1}{80})$$

d'où : $D''^2 = 0.536\, D^2$

et : $D = 0.732\, D$. . . . . . (E)

§ 3. — MACHINE A DÉTENTE SANS CONDENSATION.

Nous conserverons $z = \frac{1}{4}\, v$.

$$V = 0.785\, D^2 \times v$$
$$V''' = 0.785\, D'''^2 \times \frac{1}{4}\, v$$

$$D^2 \times 10.52 = 1.1 \times \frac{1}{4} D'''^2 \times 51.60 (1 + \log. 4 \times 2.5026 - 4 \frac{1}{5})$$

d'où : $D'''^2 = 0.458\, D^2$

et : $D''' = 0.677\, D$ . . . . (F)

ARTICLE III.

$h = 61.92$

§ 1er. — MACHINE SANS DÉTENTE NI CONDENSATION.

$$V = 0.785\, D^2 \times v$$
$$V' = 0.785\, D'^2 \times v$$

$$D^2 \times 10.^m32 = 1.2\, D'^2 \times 51.60$$

d'où : $D'^2 = 0.20\, D$

et : $D' = 0.447\, D$ . . . . . . (G)

§ 2. — MACHINE A DÉTENTE ET CONDENSATION.

Nous conserverons $z = \frac{1}{8}\, v$.

$$V = 0.785\, D^2 \times v$$
$$V'' = 0.785\, D''^2 \times \frac{1}{8}\, v$$

$$D^2 \times 10.52 = \frac{1}{8} D''^2 \times 61.92\, (1 + \log. 8 \times 2.5026 - 8\, \frac{1}{96})$$

d'où : $D''^2 = 0.445\, D^2$

et : $D'' = 0.666\, D$. . . . . (H)

§ 3. — MACHINE A DÉTENTE SANS CONDENSATION.

Nous conserverons $z = \frac{1}{4}\, v$.

$$V = 0.785\, D^2 \times v$$
$$V''' = 0.785\, D'''^2 \times \frac{1}{4}\, v$$

$D^2 \times 10.32 = 1.1 \times {}^1/_4 D'''^2 \times 61.92 (1 + \log.4 \times 2.3026 - 4^1/_6)$

d'où : $D'''^2 = 0.298\, D^2$

et : $D = 0.546\, D$ . . . . . (I)

Rapprochant les résultats obtenus dans les formules A, B, C, D, E, F, G, H, I, nous formerons le tableau suivant :

Diamètres relatifs des pistons.

SYSTÈMES DE MACHINES.	PRESSION DE LA VAPEUR, à son entrée dans les cylindres, en mètres d'eau.			
	11.m00.	41.m28.	51.m60.	61.m92.
Sans détente à condensation.	1.000	»	»	»
Sans détente ni condensation.	»	0.526	0.456	0.447
A détente et condensation...	»	0.820	0.732	0.666
A détente sans condensation.	»	0.810	0.677	0.546

ARTICLE IV.

Laquelle des trois valeurs de chaque diamètre de piston adopterons-nous? l'expérience va nous l'indiquer.

Depuis quelques années le nombre des machines à vapeur timbrées à 4 atmosphères a considérablement diminué, celui des machines timbrées à 5 a considérablement augmenté, et celui des machines timbrées à 6 est resté à peu-près stationnaire. En un mot, 5 atmosphères est le timbre le plus généralement adopté. Il ne s'en suit pas, pour cela, que nous devions prendre, pour diamètre des pistons, les résultats obtenus pour $h = 51.^m60$, parce que, dans les machines timbrées à ce chiffre, la pression de la vapeur est plus souvent 4 1/2 et 4 que 5. Profitant de ces variations de pression pour adopter des nombres ronds, nous poserons :

	Diamètres des pistons.
Machines sans détente à condensation. . .	1.000
Machines sans détente ni condensation. . .	0.500
Machines à détente et condensation. . . .	0.750
Machines à détente sans condensation. . .	0.750

SECTION II.

DIMENSIONS PROPORTIONNELLES DES DIFFÉRENTES PARTIES QUI COMPOSENT UNE MACHINE A VAPEUR.

Le premier principe à poser est le suivant : Quel que soit le système de la machine, du moment où la force transmise est la même, les dimensions des pièces qui transmettent cette force et communiquent le mouvement, doivent être constantes.

En effet, si nous comparons d'abord les machines sans détente, nous voyons que la pression est la même, de part et d'autre, sur le piston, et qu'il n'y a aucune raison pour ne pas donner les mêmes dimensions aux pièces qui transmettent cette pression à la manivelle.

D'autre part, si l'on compare les machines sans détente aux machines à détente, le même effet n'a plus lieu, car les machines à détente recevant, pendant un temps, sur une surface de piston plus grande, une même ou plus forte pression de vapeur que la machine sans détente ni condensation, la pression transmise aux pièces consécutives est plus considérable et on en conclut que leurs dimensions doivent être proportionnées à cette pression *maxima*. Ainsi, le diamètre de la machine à détente sans condensation représente le diamètre d'une machine sans détente ni condensation correspondant au diamètre 1.5 d'une machine sans détente à condensation, c'est-à-dire à une pression 2.25, ou, à vitesse égale, à une force 2.25. La machine à détente sans condensation fonctionne donc, pendant le premier quart de la course, comme une machine plus que double, en force, de ce qu'elle est réellement. La machine à détente et condensation donnerait un résultat encore plus fort.

Mais, si on augmentait les dimensions des machines à détente dans la proportion du travail qu'elles transmettent pendant la portion de la course avant la détente, il en résulterait que le prix de revient de ces machines serait presque double de celui des mêmes machines sans détente, ce qui en abolirait l'emploi.

Or, l'expérience est là qui nous fait voir la détente presque généralement employée sous les mêmes dimensions que les

machines sans détente, sans qu'il en résulte aucun endommagement des pièces et parties qui les composent; nous pouvons donc avancer, en premier lieu, qu'il n'est pas nécessaire d'accroître les dimensions des machines à détente.

En second lieu, nous trouverons l'explication de ce fait dans les observations suivantes :

1° La vitesse étant la même, les longueurs qui dépendent de la vitesse, comme celles du balancier, de la bielle, de la manivelle, du volant, n'ont nullement besoin d'être changées.

2° Les diamètres des arbres et tourillons, et les épaisseurs étant les seuls points sur lesquels l'augmentation de pression influe, il faut que ces dimensions soient bien supérieures à ce qu'elles doivent être rigoureusement, puisqu'elles résistent sous des charges plus que doubles. Y a-t-il lieu à les diminuer pour les machines sans détente? Nous ne le pensons pas, car c'est en construisant ces dernières qu'on les a adoptées.

Ce que l'on peut dire avec certitude, c'est que les pièces défectueuses, au secours desquelles les constructeurs ont apporté ces excès de diamètres et épaisseurs, seront bien plus promptement reconnues dans les machines à détente que dans les machines sans détente.

En résumé, il n'y a pas lieu à augmenter les dimensions des machines à détente.

Nous diviserons en deux classes la détermination des dimensions proportionnelles des machines, celle du piston de la machine à condensation sans détente étant 1, savoir :

Dimensions proportionnelles des parties;
Dimensions proportionnelles des axes, arbres et tourillons.

ARTICLE Ier.

DIMENSIONS PROPORTIONNELLES DES PARTIES.

Une machine à vapeur se compose de 6 parties principales distinctes, savoir :

1° Le générateur,
2° La distribution,
3° Le cylindre à vapeur,
4° La condensation,
5° L'alimentation,
6° La transmission du mouvement.

§ 1er. — GÉNÉRATEUR.

Le générateur, appelé aussi chaudière à vapeur, doit être tel que la quantité de vapeur qui passe au cylindre, dans un temps donné, soit précisément égale à celle qui se produit dans le même temps.

Or, pour une même puissance, chaque système de machine dépense, dans le même temps, des quantités différentes de vapeur que nous allons déterminer pour une seconde, savoir :

1° . . . $V = 0.785 \times 1 \times v = 0.7850\,v$

2° . . . $V' = 0.785 \times 0.250 \times v = 0.1960\,v$

3° . . . $V'' = 0.785 \times 0.5625 \times {}^1/_8\,v = 0.0552\,v$

4° . . . $V''' = 0.785 \times 0.5625 \times {}^1/_4\,v = 0.1104\,v$

Les pressions exactes de la vapeur sont déterminées par les équations :

1° . . . $V \times 10.^{m}32 = 1.2\ V'\ (h - 10.32)$

d'où : $$h = \frac{0.785 \times 10.32 + 1.2 \times 0.196 \times 10.32}{1.2 \times 0.196} = 44.^{m}60$$

2° . . . $$V \times 10.32 = V''h''\left(1 + 2.08 - {}^1/_2\,\frac{10.32}{h'}\right)$$

d'où : $$h'' = \frac{10.32 \times 0.785 + 5.16 \times 0.0552}{3.08 \times 0.0552} = 49.^{m}00$$

3° $$V \times 10.32 = 1.1\ V'''h'''\left(1 + 1.385 - 4\,\frac{10.32}{h''}\right)$$

d'où : $$h''' = \frac{10.32 \times 0.785 + 45.5 \times 0.1104}{2.625 \times 0.1104} = 45.^{m}00$$

Les densités correspondantes à ces pressions sont :

	Mètres.	Poids du mètre cube.
h	= 11.00 (a)	0.^{k}600
h'	= 44.60	2. 600
h''	= 49.65 (a)	2. 860
h'''	= 45.00	2. 650

(a) 11.^{m}00 et 49.^{m}65, parce que nous avons égard à la pression dans le condenseur qui est $\frac{1}{16} \times 10.32 = 0.645$.

Et les poids proportionnels de vapeur consommée sont :

1° Machine sans détente à condensation. . 0.472 ou 1.000
2° *id.* *id.* sans condensation. 0.510 ou 1.085
3° *id.* à détente et condensation. 0.158 ou 0.335
4° *id.* *id.* sans condensation. 0.294 ou 0.620

En nombres ronds, les consommations de vapeur sont entre elles :: 1 : 1 : $^1/_3$: $^2/_3$.

Les consommations de combustible suivent la même loi.

On est en usage de déterminer la surface de chauffe des chaudières d'après le nombre de chevaux de force que présente la machine ; il en résulte que cette surface est constante dans les quatre cas ; il en résulte aussi que, dans les machines à détente, il y a une plus grande quantité de surface pour produire une même quantité de vapeur, et que le combustible est mieux utilisé.

On donne un mètre quarré de surface de chauffe par cheval, et on brûle 5 kil. de houille par heure pour la même force ; chaque kilogramme de houille vaporise 6 kil. d'eau, c'est donc 6 × 5 = 30 kil. de vapeur par cheval et par heure dans les machines sans détente.

30 kil. vapeur pour 1 mètre quarré de surface de chauffe, font, pour 1 kil. . . . . $0^{m.q.}0334$.

Dans une machine à détente sans condensation, on a alors pour 1 kil. vapeur. . . $^3/_2 \times 0.0334 = 0^{m.q.}0500$.

Dans une machine à condensation. . . . . $3 \times 0.0334 = 0^{m.q.}1000$.

Il n'est pas possible d'établir un rapport entre la force en chevaux et le diamètre du piston, parce qu'il n'existe pas de rapport entre ce diamètre et la vitesse. Nous sommes donc obligé de baser la surface de chauffe sur la consommation de vapeur, et nous adopterons les nombres suivants :

	Surface de chauffe.	Consommation en houille.
Pour 1 kil. de vapeur par heure..	$0^{m.q.}05$ . . .	$0^{kil.}16$

On sera libre d'adopter le chiffre de $0^{m.q.}05$ pour déterminer la surface de chauffe convenable, ou de prendre l'ancien chiffre invariable 1 mètre quarré par cheval, pour n'importe quelle machine.

§ 2. — DISTRIBUTION.

La distribution comprend : le tuyau de conduite de la vapeur du générateur au cylindre, et les lumières des tiroirs.

1° *Lumières des tiroirs.*

Appelons : v la vitesse d'écoulement par les lumières;
g l'intensité de la pesanteur;
H la hauteur, en mètres, de la colonne de vapeur dont le poids serait égal à la pression qui produit l'écoulement, la pression intérieure étant quelconque.

On a la formule :

$$v = \sqrt{2gH}$$

Soient p le poids, à la pression intérieure, du mètre cube de vapeur qui s'écoule, et h la colonne de mercure équivalente à H. La densité du mercure étant 13590 kil., on a évidemment:

$$H^{m} \times p^{k} \times 1^{m.q.} = h^{m} \times 13590^{k} \times 1^{m.q.}$$

d'où :

$$H = \frac{13590}{p} \times h$$

et :

$$v = \sqrt{2gh\frac{13590}{p}}$$

Considérant l'écoulement comme ayant lieu en mince paroi, nous ferons précéder la valeur de v du coefficient 0,65 ; puis, si nous appelons : S la surface du piston;
s la section de la lumière;
v' la vitesse du piston;

nous devons avoir la relation :

$$v \times s = v' \times S$$

qui indique que les volumes écoulés par la lumière et dans le cylindre sont égaux ; on en déduit :

$$s = S\frac{v'}{v} = S\frac{v'}{0.65\sqrt{19.62\,h\frac{13590}{p}}}$$

Pour $h = 0.^{m}76$, l'écoulement ayant lieu dans le vide jusqu'à $^{1}/_{16}$ d'atmosphère, ce qui donne $p = 0.^{k}60$, on a. . . . . . $s = \frac{v'\,S}{380}$

Pour $h = 3 \times 0.^{m}76$, l'écoulement ayant lieu dans l'air, ce qui donne pour pression intérieure $h' = 4 \times 0.76$, et pour densité de la vapeur 2.41. . . . . $s = \frac{v' S}{350}$

Quelque grand que soit v', 3 mètres et même $3.^{m}50$, la section des lumières n'a pas besoin de dépasser le $^1/_{100}$ de la section du cylindre. Mais, observant que, d'une part, une partie de la vapeur est condensée en circulant dans les conduits, et que, d'autre part, les lumières ne s'ouvrent pas instantanément au commencement de la course du tiroir, nous devons accroître de beaucoup leur section si nous voulons que l'écoulement libre de la vapeur ait lieu constamment par un orifice dont la section soit au moins le $^1/_{100}$ de celle du cylindre.

La largeur des lumières est, en général, égale aux 0.6 du diamètre intérieur du cylindre; dans ce cas, la section de la lumière arrive à être $^1/_{100}$ de celle du cylindre quand le tiroir a avancé de la quantité $\frac{0.785}{100 \times 0.6} = \frac{1}{76}$ du diamètre du piston.

La course du piston est égale à deux fois le diamètre, à *basse pression*; donc, pour ces dernières machines, l'ouverture du tiroir doit être $\frac{1}{152}$ de la course le plus tôt possible après le départ du piston du point mort. Voyons quel est ce plus tôt possible dans les circonstances actuelles.

La largeur de la lumière est, en général, égale au $^1/_{10}$ du diamètre du piston, la course du tiroir est alors $^1/_5$ de ce même diamètre, donc $^1/_{10}$ de la course du piston. Il résulte de là, que le tiroir avance de $^1/_{152}$ de la course du piston quand ce dernier avance de $\frac{1}{15.2}$, ce que donne la proportion $\frac{1}{10} : 1 :: \frac{1}{152} : x$.

C'est donc au $^1/_{15}$ de la course environ que la vapeur entre dans le cylindre en volume égal au volume engendré par l'a-

vancement du piston. Comme, jusqu'à ce moment, il n'y a pas eu section suffisante d'écoulement, il ne serait pas convenable de donner à la lumière la largeur de $^1/_{76}$ de diamètre correspondant à cette section, parce qu'il faut fournir au cylindre le complément de vapeur qu'il n'a pas reçue pendant le premier $^1/_{15}$ de la course du piston. Nous pensons que si on triple cette quantité, la section d'écoulement sera suffisante; cela donnera $3 \times \frac{1}{76} = \frac{1}{25}$ du diamètre.

Or, $^1/_{25} = 0.04$, et nous avons dit plus haut que l'on donnait 0.1; en général, il faut donner le plus possible, et nous adopterons, comme tous les constructeurs, le coefficient 0.1; seulement nous conserverons comme renseignement que le coefficient 0.04 ou 0.05, moitié de ce qu'on donne ordinairement, est suffisant, renseignement utile pour les détentes par double tiroir.

Quant aux machines à haute pression, les diamètres des cylindres étant 0.5 et 0.75, tandis que la course est 2, on a :

	Sans détente.	A détente.
Course du piston par rapport au diamètre.	4	2.666
Longueur des lumières *id.* *id.* . .	0.6	0.6

La largeur des lumières se fait, en moyenne, égale aux 0.12 du diamètre du piston, ce qui donne pour course du tiroir 0.24 de ce même diamètre. Si nous voulons comparer cette course à celle du piston, nous aurons :

Course du tiroir en fonction de celle du piston. Sans détente. $\frac{0.24}{4} = 0.06$, A détente. $\frac{0.24}{2.66} = 0.09$

Nous avons dit que la largeur de la lumière étant les 0.6 du diamètre, la section de la lumière devient $^1/_{100}$ de celle du cylindre, quand sa largeur est devenue $^1/_{76}$ de ce diamètre : exprimons, comme précédemment, ce $^1/_{76}$ du diamètre en fonction de la course, et nous aurons :

$$^1/_{76} \text{ du diamètre} = \underset{\text{Sans détente.}}{\frac{1}{76 \times 4} = \frac{1}{304}}, \quad \underset{\text{A détente.}}{\frac{1}{76 \times 2.66} = \frac{1}{202}}$$

de la course du piston.

$^1/_{304}$ et $^1/_{202}$ est la quantité dont il faut que le tiroir avance le plus tôt possible.

Nous aurons, comme précédemment, les proportions :

Course du tiroir.	:	Course du piston.	::	Chemin parcouru par le tiroir.	:	Chemin parcouru par le piston.
0.06	:	1	::	$\frac{1}{304}$	:	$x = \frac{1}{18.2}$
0.09	:	1	::	$\frac{1}{202}$	:	$x = \frac{1}{18.2}$

c'est-à-dire que la section des lumières sera le $^1/_{100}$ de celle du cylindre au $^1/_{18}$ de la course du piston, au lieu de $^1/_{18}$ trouvé pour les machines à basse pression.

Dans ce cas, comme dans le premier, il est bon de tripler au moins la largeur $^1/_{76}$ du diamètre, c'est-à-dire la faire $^1/_{25}$ et même 0.06 du diamètre pour la section *minima* du tiroir, c'est-à-dire la section du petit tiroir, dans le cas de machine à détente par double tiroir; puis, de faire la largeur 0.12 comme à l'ordinaire, pour l'autre tiroir.

On aura ainsi, en conservant pour unité le diamètre du piston à basse pression :

Course du piston.		2.000
Course du tiroir.	1° Sans détente, condensation.	0.200
	2° *Id.* sans condensation.	0.120
	3° Détente.	0.180
Longueur des lumières.	1°	0.600
	2°	0.300
	3°	0.450
Largeur des lumières.	1°	0.100
	2°	0.060
	3° Tiroir supérieur	0.045
	Tiroir inférieur	0.090

2° *Tuyaux de conduite de la vapeur.*

La section des tuyaux de conduite de la vapeur doit être au moins égale à l'ouverture *maxima* des lumières. Or, cette ouverture est $^6/_{100}$ de la section du cylindre; on aura donc, pour expression du diamètre des tuyaux de conduite :

$$d^2 = 0{,}06\ D^2$$

d'où : $d = 0{,}25$ D en nombres ronds, le diamètre du cylindre à basse pression étant 1,
et :

1°	. . . .	$d = 0.2500$
2°	. . . .	$d = 0.1250$
3°	. . . .	$d = 0.1875$

Le diamètre du tuyau de conduite de la vapeur de la chaudière au cylindre doit être égal au $^1/_4$ du diamètre du cylindre.

§ 3. — CYLINDRE A VAPEUR.

La seule dimension qui soit à déterminer dans le cylindre à vapeur, c'est la course.

Or, la course varie suivant le système de machine employé : celle pour la machine à balancier est double du diamètre du piston à basse pression; quelquefois on l'augmente, mais plus généralement on la diminue, surtout pour les machines qui n'ont pas de balancier.

Sous le point de vue de l'effet utile maximum, il y a avantage à donner de grandes courses aux machines à vapeur, parce que les changements dans le sens du mouvement du piston étant moins nombreux, les pertes de force occasionées par suite de la suppression du mouvement à la fin de la course et de sa mise en train en sens contraire, sont moins considérables.

D'un autre côté, comme à chaque coup de piston il y a un volume de vapeur perdue égal au volume du tuyau de communication entre la lumière du tiroir et le cylindre, plus ce dernier sera long, moins il y aura de coups de piston pour une même force à transmettre, et moins, par conséquent, il y aura de vapeur perdue.

Mais l'augmentation de la course d'une machine augmente le poids du cylindre, le rayon, et, par suite, le poids de la manivelle, les longueurs, et, par suite, les poids de la bielle et du balancier, du parallélogramme, de la plaque de fondation, etc.; d'où résulte que les mécaniciens donnent les plus petites courses possible, sauf à augmenter la vitesse de rotation, afin d'obtenir, au meilleur marché possible, la machine vendue, pour une force déterminée, à raison d'un prix convenu.

Néanmoins, il y a une limite dans la diminution de la course, par suite de l'augmentation de la vitesse; car, plus cette dernière est grande, plus la force absorbée inutilement

par les parties mobiles, à chaque changement de sens dans le mouvement du piston, est grande; alors, le coefficient de l'effet utile diminue, et il faut le compenser par une augmentation du diamètre du cylindre et une dépense plus considérable de vapeur, ce qui entraîne une augmentation de surface de chauffe à la chaudière, et un excédant de dépense en combustible pour l'acheteur, ce qui nuit toujours à la réputatiou du constructeur.

Pour satisfaire aux divers intérêts, sans nuire sensiblement à aucun, nous pensons que la dimension de la course la plus convenable est celle adoptée par *Watt*, égale au double du diamètre à basse pression, comme nous avons dit plus haut.

Il est un cas où on est presque forcé de diminuer la course et d'augmenter la vitesse, c'est le cas des machines horizontales, parce que la bielle augmente d'une si grande quantité la longueur de la machine, que cette dernière deviendrait par trop embarrassante avec sa course ordinaire.

Nous verrons plus loin comment on fait, dans ce cas, pour l'économie du constructeur.

§ 4. — CONDENSATION.

La condensation comprend :

1° La capacité du condenseur;

2° Le diamètre et la course de la pompe à air.

Nous avons vu que pour condenser un poids P de vapeur à 38°, il fallait dépenser uue quantité d'eau représentée par :

$$x = \frac{P\,(650 - 38)}{38 - 10} = 22\,P$$

ce qui indique que le poids de l'eau introduite dans le condenseur est égal à 22 fois le poids de la vapeur qu'il condense, ce qui donue, en volumes, après la condensation de P :

23 volumes d'eau,
23 volumes d'air.

Total. . . 46 volumes à enlever par la pompe à air; cela parce que chaque volume d'eau contient, à la pression ordinaire, $^1/_{20}$ de son volume d'air, qui, sous la tension de $^1/_{16}$ d'atmosphère correspondant à la température de 38°, devient :

$$V' = V\,\frac{0.76\ (1 + 0.00366 \times 38)}{0.0475\,(1 + 0.00366 \times 10)} = 17.7\ V$$

que l'on peut porter sans inconvénient à 20 V; d'où suit que chaque volume d'eau introduit dans le condenseur représente un égal volume d'air aussi introduit.

1° *Pompe à air.*

La pompe à air est généralement à simple effet; si donc v est sa vitesse totale, $\frac{1}{2}v$ est la vitesse du fluide retiré du condenseur par seconde. Soit D le diamètre, on a :

Volume retiré par seconde $= 0.785\ D^2 \times \frac{1}{2}v$. Si D' est le diamètre du piston à vapeur et v' sa vitesse, le volume de vapeur consommé par seconde est $0.785\ D'^2 \times v'$.

A condensation, sans détente, le poids du mètre cube de vapeur fonctionnant dans le cylindre est $\frac{1000}{1425} = 0.^{k}7$, en supposant sa pression *maxima*.

Le poids de vapeur à condenser par seconde est donc :

$$0.^{k}7 \times 0.785\ D'^2\ v'.$$

Le poids d'eau introduit dans le condenseur par seconde est égal à 26.4 fois ce poids :

ou : $$26.4 \times 0.7 \times 0.785 \times D'^2\ v'.$$

Le volume de l'eau condensée est :

$$\frac{(26.4+2.1) \times 0.7 \times 0.785\ D'^2 v'}{1000 \text{ kil.}} = 0.^{m.c.}0157\ D'^2\ v'$$

Le volume d'air à enlever avec cette eau est :

$$0.0157\, D'^2\ v',$$

donc le volume total à enlever par seconde est :

$$0.0314\, D'^2\, v',$$

qui est égal au volume engendré par le piston de la pompe à air, ce qui donne :

$$0.0314\ D'^2 v' = \frac{\frac{1}{2} \times 0.785\ D^2 \times v}{0.75}$$

0.75 au dénominateur, parce qu'une pompe n'élève jamais que les 0.75 du volume calculé.

On déduit de cette équation :

$$0.0236\, D'^2 v' = 0.3925\, D^2 v$$

et :

$$D^2 = 0.06\, D'^2 \frac{v'}{v}$$

Dans les machines à balancier, la course de la pompe à air est moitié de celle du cylindre à vapeur, on a donc $v = \frac{1}{2} v'$,

d'où : $D^2 = 0.12\, D'^2$,

et $D = 0.346 D' = 0.35\, D'$.

Telle est la valeur théorique de D en fonction de D'. En pratique, on double presque cette valeur pour les raisons suivantes :

1° A chaque coup de piston il y a un volume de vapeur remplissant les conduits et l'espace dit jeu du piston, qui passe au condenseur sans avoir servi ;

2° La vapeur entraîne avec elle une quantité d'eau d'un poids à peu près égal au sien, et qui nécessite l'emploi de plus d'eau pour la condensation.

Bien certainement, ces deux circonstances n'influent pas tellement sur les résultats, pour qu'on soit obligé de doubler le diamètre du piston de la pompe à air, ce qui suppose un quadruple volume engendré, dans le même temps, par le piston ; néanmoins, nous n'oserions prendre sur nous de déclarer ce diamètre de la pompe à air trop considérable, par la raison qu'il est presque généralement adopté, et que *Watt* lui-même lui donnait les deux tiers de celui du piston à vapeur.

On conçoit, en effet, que pour peu que la condensation ne s'effectue pas convenablement, voilà la machine presque arrêtée par suite de la résistance qu'offre au piston la pression dans le condenseur.

Il n'est donc pas étonnant que l'on préfère tripler au moins la charge de la pompe à air, et être sûr qu'elle enlève suffisamment d'eau, et surtout de gaz, du condenseur.

La force qu'absorbe la pompe à air est assez notable, comme nous l'allons voir.

Le piston, muni de clapets, se meut dans un corps de pompe fermé lui-même en-dessus et en-dessous du piston par des clapets ; de sorte que le clapet supérieur du corps de pompe ne

lève que quand la pression du fluide soulevée par le piston devient, en diminuant de volume, plus forte que la pression atmosphérique, augmentée de la charge de l'eau et du poids de ce clapet sur l'orifice d'écoulement. De même, le clapet inférieur ne se soulève que quand la pression sous le piston devient plus petite que $^1/_{16}$ d'atmosphère augmentée de la charge de l'eau dans le condenseur, moins le poids du clapet sur l'orifice.

Par suite de cela, le piston ne produit de travail appréciable qu'en montant, la descente servant uniquement à faire passer le fluide du dessous en-dessus. Au bas de la course, la pression en-dessus du piston est égale à celle du condenseur, puisque c'est un volume à une pression qui n'a fait que se déplacer. Soit cette pression, avec la charge d'eau retirée du condenseur, égale à $^1/_{12}$ d'atmosphère ; la pression en-dessous est aussi $^1/_{12}$ d'atmosphère, en supposant qu'il a fallu que la pression inférieure se portât là pour soulever le clapet du piston lors de sa descente.

Sitôt que le piston monte, la pression supérieure augmente jusqu'à devenir 1,1 atmosphère environ, et celle au-dessous devient $^1/_{20}$ d'atmosphère à peu près, ce qu'il faut pour ouvrir le clapet du condenseur.

Si l'on évalue à 1 atmosphère la pression moyenne pesant constamment sur le piston de la pompe à air, y compris les frottements, on aura un maximum.

A un atmosphère, la charge sur ce piston est :

$$0.785 \times (0.6\, D')^2 \times 10320 \text{ kil.}$$

La vitesse étant $^1/_2\, v'$, le travail absorbé par seconde est :

$$0.785(0.6D')^2 \times 10320 \times {}^1/_2 v' = 0.785\, D'^2 v' \times 10320 \times 0.18$$
$$= 0.18\, V \times 10.32$$

Or, $V \times 10.32$ est le travail total produit; comme l'effet utile est moitié du travail total produit, le travail absorbé par la pompe à air est, en nombres ronds, le cinquième du travail total produit, et les deux cinquièmes du travail utilisé.

Ainsi, dans une machine de 20 chevaux pratiques, il y a 40 chevaux, dont 20 utilisés,

8 pour la pompe à air;
12 pour les autres pompes, etc.

On conçoit maintenant combien il est important de perfectionner l'appareil de la condensation de manière à pouvoir amener le diamètre de la pompe à air à la dimension trouvée

par le calcul, et pour laquelle la force absorbée par cette pompe ne serait que le tiers, au plus, de ce qu'elle est actuellement.

§ 5. — ALIMENTATION.

L'alimentation comprend la détermination des diamètres et courses des pompes d'eau fraîche et d'alimentation.

1° *Pompe d'alimentation.*

Soient d son diamètre, v sa vitesse; le volume engendré par elle par seconde est :

$$0.785\ d^2 \times {}^1/_2\ v$$

Les pompes ne donnant généralement que les 0.75 du volume calculé, le volume d'eau envoyé à la chaudière par seconde est :

$$0.75 \times 0.785\ d^2\ \frac{v}{2}$$

Les pompes d'alimentation se suspendent d'habitude au quart du balancier, et ont pour course la moitié de la course du piston à vapeur. Comme les pompes sont à simple effet, il en résulte que le travail d'un coup de piston doit suffire à la fourniture de deux cylindres de vapeur ; on a alors, comme pour la pompe à air, théoriquement :

$$0.785\ D'^2 v' \times 0.^k7 = 0.75 \times 0.785\ d^2 \times \frac{v}{2} \times 1000^k$$

Or $v = \frac{v'}{2}$, on en conclut :

$$d^2 = \frac{D'^2 v' \times 0.7}{0.75\ \frac{v'}{4}\quad 1000} = \frac{2.8\ D'^2}{750} = 0.00373\ D'^2$$

d'où : $d = 0.061\ D'$

Si on remarque que nous n'avons tenu aucun compte des pertes d'eau entraînée par la vapeur, de celles de vapeur dans les conduits et par le jeu du piston en haut et en bas; enfin, de vapeur par les soupapes, on ne sera pas étonné que d'habitude on prenne :

$$d = 0,1\ D'.$$

2° *Pompe d'eau fraîche.*

MACHINES A CONDENSATION.

La quantité d'eau que doit produire la pompe d'eau fraîche est égale à celle nécessaire pour effectuer la condensation. Sa position dans une machine à balancier étant la même que celle d'une pompe d'alimentation, on peut poser la même formule pour exprimer la quantité d'eau qu'elle produit par seconde, savoir :

$$0.75 \times 0.785\, d^2 \times \frac{v'}{4} \times 1000 \text{ kil.}$$

v' étant la vitesse du piston à vapeur.

Puisque, pour condenser P kil. de vapeur, il faut 22 P d'eau, le diamètre de la pompe d'alimentation rigoureusement nécessaire pour suffire à deux cylindres de vapeur étant :

$$d = 0.061\, D'$$

on obtient le diamètre de la pompe d'eau fraîche en posant :

$$0.75 \times 0.785\, d^2 \times \frac{v'}{4} \times 1000^k = 0.75 \times 0.785\, (0.061\, D')^2$$

$$\times \frac{v'}{4} \times 1000 \times 22$$

c'est-à-dire : $d^2 = 22\, (0.061\, D')^2$

d'où : $d = 4.69 \times 0.061\, D' = 0.286\, D'$

Comme il y a toujours avantage à fournir un excès d'eau, pour les cas où les appareils fonctionnent irrégulièrement, on augmente aussi ce diamètre et on pose :

$$d = 0.35\, D'$$

Pour les pompes d'eau fraîche de machines sans condensation, il suffit de dire que le diamètre doit être un peu plus considérable que celui de la pompe d'alimentation.

§ 6. — TRANSMISSION DU MOUVEMENT.

La transmission du mouvement comprend :

La tige du piston;
Le parallélogramme;
Le balancier;

La bielle;
La manivelle;
Le volant.

Les dimensions de toutes ces pièces d'une machine à vapeur ont été déterminées par *Watt* de la manière suivante, pour machines à balancier; le diamètre du piston de la machine à basse pression étant 1 :

Longueur de la course.	2
Longueur de la tige du piston.	3
Longueur du balancier.	6
Longueur du parallélogramme.	1.5
Hauteur du parallélogramme.	1
Longueur de la bielle.	5
Longueur de la manivelle.	1
Diamètre du volant.	6

Pour les machines sans balancier, on peut diminuer toutes ces dimensions. Ainsi, sans changer les chiffres, on peut prendre pour unité le diamètre du piston de la machine à détente, auquel cas chacune de ces pièces se trouve diminuée d'un quart. Pour bien faire, il est préférable de conserver dans tous les cas les rapports que nous avons donnés ci-dessus.

ARTICLE II.

DIMENSIONS PROPORTIONNELLES DES AXES, ARBRES ET TOURILLONS.

Ces dimensions, que l'on peut facilement déterminer par le calcul, au moyen des formules relatives à la résistance des matériaux, ont toutes été déterminées par expérience, et diffèrent considérablement de celles que l'on obtient par ce moyen, comme nous allons le voir.

1° *Tige du piston à vapeur.*

Cette tige est soumise alternativement à la traction et à la pression. Si on calculait sa section pour résister à la traction, on lui trouverait un diamètre très-petit par rapport à celui qu'on lui donne d'ordinaire; comme on n'a pas de données certaines pour les dimensions des pièces résistant à l'écrasement, nous prendrons comme tige la valeur que donne l'expérience, savoir :

$$d = {}^1/_{10}\,D \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

D étant le diamètre du piston à vapeur.

Ainsi, à basse pression, la charge sur le piston à vapeur est

10330 kil. par mètre quarré, il en résulte que la charge supportée par la surface de tige d^2 est :

$$10330 \times D^2.$$

De l'équation (1) on déduit :

$$d^2 = {}^1/_{100}\, D^2$$

La charge par mètre quarré de tige est donc égale à cent fois la charge par mètre quarré de piston, c'est-à-dire :

$$100 \times 10330 = 1033000 \text{ kil.}$$

et par centimètre quarré de tige :

$$103.^k30,$$

pour une longueur égale à trois fois le diamètre du piston, c'est-à-dire à trente fois son propre diamètre.

On donne à la tige du piston de la pompe à air, qui est d'une longueur double, un diamètre égal à 0.6d, par conséquent :

$$0.6 \times 0{,}1\,D = 0{,}06\,D.$$

On donne aux tiges des pompes d'eau fraîche et d'alimentation un diamètre au milieu égal à la moitié de celui de la tige du piston à vapeur, soit :

$$0.05\ D.$$

2° *Tourillons du balancier.*

On a, pour les tourillons extrêmes, la formule de Robertson :

$$d = 2.76\, Q^{1/3}$$

dans laquelle Q est exprimé en quintaux métriques. Or, en kilogrammes, la charge est :

$$10330^k \times 0.785\ D^2$$

d'où, en quintaux métriques, si on remplace Q par sa valeur :

$$d = 2.76\,(103.30 \times 0.785\ D^2)^{1/3}$$
$$= 12\ D^{2/3}$$

En exprimant D en mètres, on obtient d en centimètres ; pour obtenir d en mêmes mesures que D, il faut diviser sa valeur par 100, ce qui donne :

$$d = 0.12\ D^{2/3}$$

Pour $D = 1.^m00$ on a : $D^{2/3} = \sqrt[3]{1.^{m.q.}00} = 1$

donc : $d = 0.^m12 = 0.12\ D$

Pour $D = 0.50$ on a : $D^{2/3} = \sqrt[3]{0.25} = 0.63$

d'où : $d = 0.12 \times 0.63 = 0.^{m}0755$

$= 0.151\ D$

ce qui indique que, plus le diamètre du piston est grand, plus celui du tourillon extrême du balancier peut être faible par rapport à lui. On est libre d'adopter l'une des deux formules :

$$d = 0.12\ D^{2/3}$$
$$d = 0.12\ D$$

Dans la plupart des cas, nous avons eu lieu d'observer que, pour les petites machines, on employait la seconde.

Pour le tourillon du milieu, qui supporte une charge double de celle supportée par les tourillons extrêmes, il suffit de poser :

1° Tourillon extrême.. . . . $d = 2.76\ Q^{1/3}$

2° Tourillon du milieu. . . . $d' = 2.76\ (2\ Q)^{1/3}$

et : $$\frac{d}{d'} = \frac{Q^{1/3}}{(2\,Q)^{1/3}}$$

d'où : $$d' = d\ \frac{(2\,Q)^{1/3}}{(Q)^{1/3}} = d\ \sqrt[3]{2}$$

$$= 1.26\ d = 0.152\ D^{2/3}$$

Comme l'axe du balancier supporte non-seulement le double de la charge des axes extrêmes, mais encore le poids du balancier, il est bon d'y avoir égard, et nous poserons :

$$d' = 0.16\ D^{2/3}$$
$$d' = 0.16\ D$$

que l'on peut adopter indifféremment pour tous les cas.

3° *Bouton de la manivelle.*

Pour le bouton de la manivelle, on remarque que sa charge est double de celle des tourillons des axes du balancier, qui sont accouplés deux à deux. Il résulte de là que les dimensions doivent être les mêmes que celles des tourillons du milieu du balancier; on a, en nombres ronds :

$$d = 0.15\ D^{2/3}$$
$$d = 0.15\ D$$

la première formule servant pour les machines au-dessus de D = 1 mètre, et la seconde pour celles au-dessous.

4° Arbre du volant.

On a, pour ce cas, la formule :

$$d^3 = 2.3 \frac{A}{n} \text{ en fonte.}$$

A étant la quantité de travail transmis par minute; et n le nombre de tours dans le même temps.

Or, en prenant pour coefficient de l'effet utile 0.70, qui est un maximum, on a :

$$A = 0.70 \times 0.785 \, D^2 \times 10330^k \times 4 \, Dn$$

(2 D étant la course, 4 D fait deux courses pendant un tour de manivelle).

On en déduit :

$$d^3 = 2.3 \times 0.70 \times 0.785 \times D^2 \times 10330 \times 4 \, D$$
$$= 52.000 \, D^3$$

d'où : $d = 37.4 \, D$

et comme d est en centimètres pour D en mètres, afin de l'avoir en unités de même espèce que D, nous divisons par 100, ce qui nous donne :

$$d = 0{,}374 \, D.$$

Le coefficient 0.374 est un peu fort; l'expérience prouve que le coefficient 0.35 est plus que suffisant pour tous les cas. La fonte, d'ailleurs, est un métal dont les dimensions dépendent beaucoup plus de la fonderie que de la résistance à vaincre.

On a, pour le fer :

$$d' = \frac{d}{1.2} = \frac{0.35 \, D}{1.2} = 0.29 \, D$$

TROISIÈME PARTIE.

CONSTRUCTION.

La construction comprend :

1° *L'étude des matériaux de construction;*
2° *L'architecture industrielle;*
3° *La construction des routes;*
4° *La navigation;*
5° *La construction des conduites d'eau;*
6° *La construction des ponts.*

LIVRE PREMIER.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS DE PRÉFÉRENCE DANS LES CONSTRUCTIONS CIVILES ET INDUSTRIELLES.

CHAPITRE PREMIER.

PIERRES.

Les pierres se divisent en quatre classes, savoir :

1° Les pierres *calcaires;*
2° Les pierres *alumineuses;*
3° Les pierres *gypseuses;*
4° Les pierres *scintillantes.*

ARTICLE Ier.

PIERRES CALCAIRES.

Les pierres calcaires sont le type de la matière propre à construire; elles sont excessivement répandues dans la nature, et le plus employées pour la construction en général.

La base des pierres calcaires est le *carbonate de chaux* plus ou moins pur; d'où résulte que ces pierres, exposées au feu

pendant un certain temps, se réduisent en chaux caustique, dont nous étudierons plus loin les propriétés.

Plongées dans les acides, les pierres calcaires s'y dissolvent après avoir dégagé avec effervescence l'acide carbonique qu'elles contenaient; frappées au briquet, elles ne donnent pas d'étincelles.

On les trouve dans les carrières en bancs horizontaux dont les épaisseurs varient entre 25 centimètres (9 pouces) et 2 ou 3 mètres (6 pieds ou 9 pieds 2 pouces), suivant les localités. Dans l'exploitation des blocs de calcaire, chaque banc supérieur se détache parfaitement du banc inférieur, avec lequel il n'a aucune adhérence.

Le calcaire se trouve tantôt à 1 ou 2 mètres (3 pieds ou 6 pieds) au-dessous du sol, comme à *Marquises* (Pas-de-Calais), ou à *Mello* (Seine-et-Oise); tantôt à une profondeur un peu plus grande, comme à *Charenton* et *Montrouge* (Seine).

On distingue plusieurs espèces de calcaires, savoir :

Le *liais*,
Le *cliquart*,
La *roche*,
Le *banc franc*,
La *lambourde*.

Le *liais* réunit toutes les qualités des plus belles pierres; son grain est fin, sa texture uniforme; il résiste à toutes les intempéries des saisons quand il a été tiré de la carrière avant les pluies. On en tire des blocs qui ont jusqu'à 7 mètres (21 pieds 6 pouces) de long sur 3 mètres (9 pieds 2 pouces) de large; mais leur épaisseur ne dépasse jamais 25 centimetres (9 pouces). C'est pourquoi on l'emploie de préférence dans toutes les parties de la construction où la pierre est en vue sur une grande surface, comme dans les marches d'escaliers, les balcons, les cymaises, les corniches, les tablettes de balustrades, les chambranles de cheminées, etc.

La plus grande exploitation du liais a lieu à Montrouge, près Paris.

Le *cliquart* est une pierre dure moins fine que le liais, et peu employée à cause du prix de revient de la main-d'œuvre pour le tailler.

La *roche* est une pierre dure et coquilleuse. On la trouve ordinairement en deux bancs superposés, dont l'un est plus abondant en coquilles que l'autre. La hauteur des bancs de roche varie entre 30 et 60 centimètres (11 pouces et 1 pied 10 pouces).

Le *banc franc* est une pierre tendre qui n'a d'emploi que dans les bâtiments ; elle est proscrite des ponts ou canaux.

La *lambourde* est une pierre encore plus tendre que le banc franc, et qui s'emploie, comme le banc franc, dans le bâtiment. L'épaisseur de ses bancs varie entre 60 centimètres et 1 mètre (1 pied 10 pouces et 3 pieds).

D'après ce, on voit que l'on peut diviser les pierres de taille en deux catégories distinctes, savoir :

Les pierres dures,
Les pierres tendres.

Les pierres dures sont celles qui ne se débitent qu'au moyen d'une scie sans dent, se mouvant dans une fente imbibée d'eau et de grès pilé.

Les pierres tendres sont celles qui se débitent avec la scie à dents.

Ce qu'il faut rechercher avant tout, dans les pierres calcaires, c'est qu'elles aient le grain fin, le texture uniforme et compacte ; puis, qu'elles résistent à l'action destructive de la gelée.

Pour vérifier si une pierre est susceptible de se déliter par l'action de la gelée, on en détache un petit cube que l'on plonge dans une dissolution bouillante de sulfate de soude. On la retire ensuite et la laisse sécher ; si elle a bu, ses arêtes tombent en poussière, et sont suivies d'une portion plus ou moins grande du reste de la masse, suivant la qualité de la pierre.

ARTICLE II.

PIERRES ALUMINEUSES.

Les pierres alumineuses ne font pas d'effervescence quand on les plonge dans un acide ; elles durcissent au feu, et ne peuvent se réduire ni en chaux, ni en plâtre.

Elles sont douces au toucher et composées d'écailles ou lames qui peuvent se séparer.

On classe, parmi les pierres alumineuses, les différentes espèces de *schistes* dont on extrait les ardoises.

On distingue les pierres alumineuses en deux espèces, savoir :

Les pierres naturelles,
Les pierres artificielles, ou briques.

Briques.

Les briques sont des poteries communes. Elles se préparent

avec la terre alumineuse, appelée *argile*. On distingue plusieurs variétés d'argiles, savoir :

La collyrite,
Le kaolin,
L'argile plastique,
L'argile smectique,
L'argile figuline,
L'argile marne.

Les cinq premières variétés peuvent être employées à faire des briques plus ou moins réfractaires. La dernière est celle qu'on emploie généralement à la fabrication des briques communes.

On distingue les briques en :

Briques crues,
Briques cuites.

Les premières se font en terre, en mortier ou en plâtre.

Les briques en terre ne peuvent s'employer que dans les pays où l'action du soleil est forte; cependant, à *Reims*, on emploie des briques en terre composée d'argile, de craie et de silice. On élève, avec cela, des maisons qui ont jusqu'à deux étages ; on a soin seulement de recouvrir les murs exposés à la pluie avec des planchettes en bois, taillées en forme d'ardoises. D'autres fois on les peint seulement à la chaux ; enfin, on les recouvre, dans certains cas, d'un enduit d'argile, chaux et poils de cuir tanné, qui empêche les gerçures de se former.

En mortier, on fait des briques crues de toutes dimensions ; en Italie, on construit des digues en maçonnerie de ce genre.

Les briques en plâtre servent dans la construction des cloisons minces, à Paris.

Les briques cuites sont employées dans presque toutes les localités où on ne peut se procurer la pierre à bon marché.

Leur bonté dépend de la nature de la terre, de la manipulation et de la cuisson.

Les éléments de la brique cuite sont : l'*alumine* et la *silice*.

Quand l'alumine domine, la brique prend trop de retrait; quand c'est la silice, au contraire, qui domine, la brique se vitrifie pendant la cuisson.

Parmi les terres que l'on emploie à la fabrication des briques, il en est qui sont plus ou moins chargées d'éclats de pierres calcaires. Les terres doivent être visitées avec soin et

purgées de ces substances; sans quoi, elles produisent les plus grands dégâts dans les constructions où l'on emploie des briques qui en contiennent. Le carbonate de chaux passe à l'état de chaux vive par la cuisson; et cette chaux, sitôt qu'elle sent l'humidité du mortier, se gonfle et soulève tout ce qui est audessus d'elle. Quand les terres sont trop riches en l'un ou l'autre de leurs éléments, on rétablit l'équilibre en ajoutant de l'élément qui manque.

Pour avoir une bonne terre à briques, il faut l'avoir retirée du sol au moins six mois avant de l'employer, de manière à ce qu'elle ait passé par l'une des époques extrêmes, froid ou chaud, de l'année. Plus la terre est vieille, meilleure elle est.

Tout le secret d'une bonne fabrication de briques est dans la manipulation de la terre.

Les briques sont des parallélipipèdes rectangles dont les dimensions sont les suivantes :

Briques de Paris :	Longueur.	0.^{m}20
	Largeur.	0.^{m}10
	Epaisseur. . . .	0.^{m}05

Briques économiques employées dans les usines :

Longueur. . . .	0.^{m}24
Largeur.	0.^{m}12
Epaisseur. . . .	0.^{m}06

Les briques se font soit à la main, dans des moules à une ou deux briques, suivant la perfection avec laquelle elles doivent être exécutées, soit avec des machines dont la plus ingénieuse est celle qui était à l'exposition des produits de l'industrie de 1844. Un ouvrier belge, travaillant douze heures par jour, avec des moules à deux briques, peut faire jusqu'à 6000 briques dans sa journée. La terre est apportée au pied de sa table par un marcheur qui dessert une table facilement, et les briques sont déposées sur le sol, au fur et à mesure du moulage, par un enfant; ce qui nécessite deux moules.

Le mille de briques fabriqué ainsi coûte 6 francs de main-d'œuvre totale, y compris la cuisson, et abstraction faite de l'extraction de la terre; il exige, en outre, pour la cuisson, environ pour 5 francs de combustible, ce qui porte son prix de revient à environ 12 francs, y compris l'extraction.

Ce prix de revient si bas, joint à l'avantage d'une mise de fonds très-peu considérable, et à la facilité que présente le déplacement des tables au fur et à mesure que la terre man-

que, et que le sol se recouvre de briques à sécher, fait que les machines auront beaucoup de peine à supplanter les mouleurs.

Les briques moulées se déposent d'abord à plat sur le sol, préalablement aplani lui-même et recouvert de sable. Quand l'action du soleil leur a fait prendre une certaine consistance, on les met sur champ. Au bout d'un jour de beau temps, on les met en haies, sur champ et inclinées, de manière à laisser l'air circuler. Les haies ont depuis 1.m60 jusqu'à 2 mètres de haut.

Dans cet état, les briques ne craignent plus la pluie, parce qu'on peut les recouvrir au besoin de paillassons en paille.

Au sortir des haies, les briques sont mises en meules, ou dans des fours, pour subir la cuisson.

La cuisson en meules présente quelques inconvénients qui lui ont fait préférer, dans certains cas, la cuisson dans des fours; elle est irrégulière, difficile à conduire; elle donne beaucoup de briques incuites, dites *vases crues*, et nécessite plus de combustible; mais elle a l'avantage de pouvoir s'effectuer partout, c'est-à-dire là où sont les briques à cuire; tandis que les fours nécessitent souvent des frais de transport considérables, parce que la terre qui les environne une fois épuisée, il faut aller travailler plus loin.

Compte de revient d'une fabrication de briques en grand et en bonne qualité.

Extraction de la terre pour 1000 briques.

1.m.c.750 de terre : soit 4 heures d'un manœuvre à 1 fr. 50 par jour. . . . . 0 f. 60

Manipulation.

Trois hommes à 1 fr. 75 par jour, préparant la terre pour 8000 briques : d'où, pour 1000. . . . 0 f. 66

Moulage.

Un chef et un aide.	5 f.	00
Deux mouleurs.	4	00
Deux porteurs.	4	00
Deux poseurs.	3	00
	16	00

pour 8000 briques : d'où, pour 1000 . . . . . . 2 f. 00

Recoupage des bavures.

Deux manœuvres à 1 fr. 50, faisant ensemble 3 francs pour 8000 briques, et pour 1000. . . .		0 f. 38

Divers pour manipulation.

Travaux accessoires, tels que pente, dressement du sol, etc.		0 f. 45
Paillassons, cabane, etc.		0 46
Sable		0 35
Frais de voyage des ouvriers que l'on fait venir		0 20

Cuisson.

250 kil. de houille à 15 francs les 1000 kil. .		3 75
Deux hommes à 2 francs par jour. . .	4 f. 00	
Quatre rouleurs à 1 fr. 75.	7 00	
Un porteur de charbon et un poseur, à 1 fr. 50.	3 00	
Total. . . .	14 f. 00	
pour 16000 briques : d'où, pour 1000.		0 875

Frais généraux.

Terrain		0 f. 128
Chef briquetier.		0 375
		10 f. 228
Perte 1/19.		1 182
Total. . . .		11 f. 410

Ce prix se rapproche sensiblement de celui que nous avons donné précédemment pour une fabrication momentanée.

Lorsqu'on cuit les briques dans un four, on emploie la disposition représentée *Pl.* XX, *fig.* 1 et 2, et qui est la meilleure. Le four est à deux compartiments superposés et munis chacun d'un foyer. On commence le feu par le foyer du compartiment inférieur ; quand les briques de ce compartiment sont suffisamment cuites, on laisse le feu s'éteindre naturellement, et on continue la combustion dans le foyer du compartiment supérieur. De cette façon, on utilise la chaleur perdue par le chauffage des briques renfermées dans le compartiment inférieur, et il ne reste plus que peu de combustible à brûler pour achever la cuisson des briques renfermées dans le compartiment supérieur.

Le tableau suivant donne les quantités de bois brûlées par ce système de cuisson, aux différentes périodes du travail, le *quart* étant la durée de l'occupation d'un homme, ou six heures, pour ce genre d'opération.

TABLEAU indiquant le nombre de fagots brûlés pendant chaque heure de la cuisson d'une fournée de briques, chaque fagot pesant 8.k90, et le four contenant { dans le compartiment inférieur, 6200 briques; dans le compartiment supérieur, 2800 id.

HEURES des QUARTS de jour.	COMPARTIMENT INFÉRIEUR 7 QUARTS.							Compartiment supérieur 1 quart.
	1er.	2e.	3e.	4e.	5e.	6e.	7e.	8e quart.
1re.	10	23	31	26	31	30	32	16
2e.	13	24	28	28	28	32	»	18
3e.	17	26	27	30	30	28	»	17
4e.	15	28	29	32	27	30	»	20
5e.	19	27	31	29	29	29	»	»
6e.	21	29	27	29	27	30	»	»
Totaux..	95	157	173	174	172	179	32	71

Total général 1053 fagots, pesant ensemble 9371.k70 correspondant à une consommation de 1.k04 de combustible par brique.

ARTICLE III.

PIERRES GYPSEUSES.

Les pierres gypseuses sont formées de sulfate de chaux cristallisé, avec deux atomes d'eau. Ces pierres, frappées avec le briquet, ne font pas d'étincelles; exposées au feu, elles perdent un atome d'eau et donnent du *plâtre*.

Elles se trouvent par bancs dont la consistance n'est pas assez forte pour qu'on puisse les employer comme pierres de taille, ou moellons. A l'état de plâtre, au contraire, elles con-

stituent l'un des matériaux de construction les plus précieux, comme nous allons le voir.

Plâtre.

Si on calcine le sulfate de chaux, tel qu'il se trouve dans la nature, il laisse dégager une quantité plus ou moins abondante de vapeur d'eau. Si, ensuite, on le réduit en poudre, après l'avoir laissé préalablement refroidir, et si on le mélange avec une quantité suffisante d'eau, il se combine à cette eau, forme une pâte dont la consistance augmente sans cesse jusqu'à ce qu'elle soit devenue solide, moment auquel sa température s'est élevée à près de 100° centigrades.

Si on étudie les phénomènes qui se passent dans ces deux opérations, on trouve que le plâtre calciné a perdu la moitié de son eau de cristallisation, et que, en lui rendant cette eau, il cristallise de nouveau en masse compacte, sans cristaux apparents à l'œil nu, mais qu'il est facile d'observer au microscope, quand il est bien pur.

Cette propriété remarquable d'une substance répandue en assez grandes masses dans la nature, a fait du plâtre la matière principale des constructions aériennes, partout où on a pu se le procurer à bon marché, comme à *Paris*.

Le plâtre, néanmoins, n'est pas aussi résistant à l'action de l'humidité de l'air, ou à l'eau, que le mortier, que nous étudierons plus loin; il convient le plus spécialement aux enduits intérieurs, ou aux corniches extérieures qui sont abritées par les tuiles du toit.

Le plâtre se cuit d'une manière à peu près analogue à la cuisson des briques; on peut même employer le four à briques ordinaires, comme l'indique le compte de revient suivant d'une cuisson de plâtre dans un four de ce genre.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

Quand on ne fait pas usage du plâtre immédiatement après sa cuisson, il faut avoir soin de le mettre à l'abri du contact de l'air et de l'humidité.

Un bon plâtre peut absorber son poids d'eau; on utilise cette propriété pour vérifier s'il a été bien calciné.

Quoique le plâtre des environs de Paris soit excellent, il jouit rarement de la propriété de prendre, avec une quantité d'eau égale à son poids; cela tient à ce que les fabricants in-

TABLEAU du combustible employé à la cuisson de huit mètres cubes de plâtre dans un four à briques à deux compartiments.

HEURES.	NOMBRES de FAGOTS.	HEURES.	NOMBRES de FAGOTS.
1re.	13	6e.	27
2e.	20	7e.	28
3e.	28	8e.	26
4e.	27	9e.	28
5e.	26	10e.	30

Total 253 fagots pesant 8 kil. 70 chaque, donc 2201 kil. de combustible pour 8 mètres cubes, ou 275 fagots pour 1 mètre cube.

troduisent, sous le nom de *musique*, dans le plâtre calciné, une quantité plus ou moins grande de plâtre non cuit et incapable de prendre l'eau.

On a construit des fours à plâtre chauffés par la chaleur perdue de fours à coke destiné soit au service des chemins de fer, soit à des fonderies, ou autres usages. Les figures 3, 4, 5 (*Pl.* XX) représentent deux dispositions de fours de ce genre, dont l'une, la première, a été employée à *Montfaucon*, près Paris.

ARTICLE IV.

PIERRES SCINTILLANTES.

Ces pierres se distinguent des autres, en ce que, soumises au briquet, elles font feu; elles ne font pas effervescence avec les acides : quelques-unes d'entre elles, les *grès*, par exemple, résistent à l'action du feu le plus intense; il en est d'autres, comme le porphyre et la lave, qui se liquéfient, mais à une température très-élevée.

Grès.

Les grès sont composés de grains de sable (silice) reliés par un ciment particulier. Les grès de Fontainebleau ont pour ciment du carbonate de chaux déposé par des eaux dans les-

quelles il était en dissolution à la faveur d'un excès d'acide carbonique.

Ce grès se débite facilement et est exclusivement employé au pavage de Paris et de ses principales routes, dans un rayon de 120 kilomètres (30 lieues) autour de cette capitale. La qualité des grès de Fontainebleau est variable; en général, plus ils sont pris près de la surface supérieure, dans la carrière, plus ils sont durs.

Il existe, en Belgique, près de Liége, une carrière de grès très-remarquable, que l'on emploie spécialement à la confection des *ouvrages* et *creusets* de hauts-fourneaux. Ce sont des pudding-siliceux où cailloux de silice pur reliés entre eux par un ciment de silice. Ces grès sont non-seulement d'une dûreté extrême, en ce qui concerne la taille, mais encore ils sont excessivement réfractaires.

Silex.

Le silex, caillou ou galet, est peu employé dans les constructions.

C'est principalement dans les pays crayeux, comme la Champagne, où il existe en grande abondance, qu'on l'intercale avec d'autres pierres dans la confection des murs. Dans ce cas, il affecte une foule de formes qui dénotent avec évidence qu'il est tombé à l'état de fusion dans cette craie, à une époque où cette dernière constituait le limon de la mer. Il faut alors le casser, ce qui augmente le prix de revient de la main-d'œuvre et fait qu'on l'emploie peu, bien que très-solide.

Pierre meulière.

La pierre meulière est une pierre siliceuse très-inégale et poreuse, d'un aspect analogue à celui d'une éponge.

On en connaît deux espèces :

La première espèce se trouve en bancs ou en masses, et sert à faire des meules de moulins; telles sont les pierres de *La Ferté-sous-Jouare*, *Chatellerault*, etc.

La seconde espèce se trouve en rognons isolés ou réunis, mais se détachant toujours facilement les uns des autres. C'est cette dernière espèce qui a été employée à la construction des fortifications de Paris.

La pierre meulière est très-dure, et, reliée par du mortier, elle constitue le meilleur genre de maçonnerie qui existe, tant à cause de la facilité avec laquelle le mortier adhère après elle, que parce qu'elle est inaltérable à l'air et à l'eau.

Elle s'emploie, par ces motifs, à la construction de tous les édifices publics et particuliers qui sont soumis alternativement à l'action destructive de l'air et de l'eau, tels que égoûts, piles de ponts, perrés, etc. Il faut avoir soin, avant de l'employer, de la débarrasser de l'argile qu'elle contient.

Basalte.

Le basalte est un produit volcanique, d'un tissu très-serré, d'un grain très-fin et susceptible de prendre un très-beau poli. Il se trouve dans le sol disposé en colonnes verticales et prismatiques.

Il existe, en *Poméranie*, des carrières où on trouve des colonnes de ce genre ayant jusqu'à 4 mètres 50 cent. (13 pieds 9 pouces) de haut, d'un seul morceau. Les colonnes sont disposées les unes à côté des autres comme des tuyaux d'orgue. Les carrières de basalte les plus curieuses sont en *Irlande*.

Lave d'Auvergne.

C'est une substance analogue au basalte, que l'on rencontre en masses très-considérables en Auvergne et qu'on emploie à faire les constructions du pays.

Depuis une vingtaine d'années, il s'en exporte des quantités très-considérables pour Paris, où elle est employée à la construction des trottoirs.

Porphyre.

C'est une pierre très-dure, employée dans les grands édifices à faire des colonnes d'un seul morceau. Son prix est trop élevé pour qu'on puisse en faire usage dans les constructions ordinaires.

Granit.

Le granit est une roche dont la dureté est variable ; en général, le quartz et le silex y dominent. Il se trouve en masses tellement considérables, qu'il faut tailler à même, dans la carrière, les morceaux qu'on veut en retirer.

Le granit a été employé en Egypte à des époques très-reculées, et a servi à construire ces monuments qu'on retrouve aujourd'hui, et qui ont résisté pendant des milliers d'années aux saisons et aux révolutions des peuples. L'obélisque de Louqsor est en granit.

On emploie le granit, en France, à faire des bordures de trottoirs et de jetées, des bornes, etc.

CHAPITRE II.

MORTIERS.

Les mortiers servent à relier les pierres entre elles. Nous avons déjà étudié le plâtre, que ses propriétés rendent plutôt propre à former des enduits que du mortier proprement dit; nous allons maintenant étudier la chaux, qui est la base de tous les mortiers.

En général, on nomme mortier, un mélange de chaux caustique avec une matière pulvérulente quelconque.

La chaux caustique s'obtient, avons-nous dit, par la calcination du carbonate de chaux ou pierre calcaire.

Parmi les diverses pierres calcaires, il en est qui sont plus ou moins riches en carbonate de chaux proprement dit; les unes contiennent des proportions plus ou moins grandes de carbonate de magnésie; les autres contiennent de l'argile, etc.

Suivant les divers degrés de pureté de la pierre à chaux, la chaux qui en résulte est douée de propriétés différentes.

En premier lieu, on distingue les chaux en :

Chaux grasses,
Chaux maigres.

Les premières, qui sont presque pures, plongées dans l'eau, augmentent de volume dans la proportion de 2 1/2 à 1, ou moins, suivant leur degré de pureté.

Les secondes, qui contiennent d'autres substances, n'augmentent pas de volume par l'hydratation.

On distingue encore les chaux en :

Chaux aériennes,
Chaux hydrauliques.

Les chaux aériennes sont celles qui ne contiennent, en fait de substances étrangères, que de la magnésie, de l'oxide de fer, etc.

Les chaux hydrauliques sont celles qui contiennent des quantités plus ou moins grandes d'argile; elles sont, par cette raison, toujours maigres.

Les premières, exposées à l'air, absorbent son acide carbonique et durcissent au fur et à mesure qu'elles se convertissent en carbonate de chaux; tandis que, plongées dans l'eau, elles se délayent et tombent en boue au fond.

Les secondes, exposées à l'air, se délitent à la surface et

prennent seulement à l'intérieur; tandis que, plongées dans l'eau, elles se convertissent en silicate double d'alumine et de chaux, et durcissent dans toute leur étendue.

On appelle *ciment Romain*, la chaux qui ne *fuse* pas quand on l'immerge dans l'eau, et qu'il faut écraser pour la convertir en pâte.

Les chaux qui sont grasses contiennent moins de un dixième de leur poids de matières étrangères; toutes les autres sont maigres à des degrés plus ou moins intenses.

COMPOSITION DE DIFFÉRENTES CHAUX.

PROVENANCES.	Chaux.	Magnésie.	Argile	Silice.	
	p. 0/0.	p. 0/0.	p. 0/0.	p. 0/0.	
Château-Landon.	94.40	1.80	1.80	»	Grasse.
Coulommier.	78.00	20.00	2.00	»	Maigre, non hydraulique.
Saint-Germain..	89.00	1.00	10.00	»	Hydraulique.
Senonches........	70.00	1.00	»	29 Oxide de fer.	Très-hydraulique.
Brest..............	82.30	»	7.7	10	Maigre, non hydraulique.

La silice, pure ou mélangée d'alumine, rend la chaux hydraulique, pourvu qu'elle soit en gelée.

Un mélange de 10 à 30 argile et 100 chaux éteinte, réduit en pâte et cuit dans un four, donne de la chaux d'autant plus hydraulique, qu'il y a plus d'argile.

Un mélange de 40 à 90 argile et 100 chaux constitue le ciment hydraulique qui ne fuse pas.

Un mélange de 100 argile et 100 chaux constitue le ciment ordinaire.

Il faut, pour que ces mélanges soient bons, que la chaux soit pure ou à peu près.

Cuisson des chaux.

La cuisson de la chaux se fait de deux manières, savoir :

Dans des fours continus;
Dans des fours intermittents.

La cuisson intermittente s'effectue avec du charbon de terre, de la tourbe ou du bois, et s'opère dans un four analogue à celui employé pour la cuisson des briques.

La cuisson continue s'effectue avec du charbon de terre déposé avec le calcaire en couches alternatives comme dans la cuisson des briques à la volée, et s'opère dans des fours en forme de cône renversé; la charge se fait par en haut, et on retire la chaux par une porte ménagée à la partie inférieure.

Dans ces fours, on emploie depuis un hectolitre et demi jusqu'à deux hectolitres et quart de houille, pour obtenir un mètre cube de chaux, suivant la nature du calcaire et du combustible.

Dans les pays où on ne possède pas de houille, il faut faire la chaux dans des fours intermittents cuits au bois; dans ce cas, la combustion s'effectue comme celle des briques; seulement elle dure plus longtemps.

Ainsi, dans un four à deux compartiments, pouvant contenir :

1° Dans le compartiment inférieur	30m.c. 500	pierre calcaire.
2° Dans le compartiment supérieur	10 500	
Total. . .	41m.c. 000	

on consomme, en 68 heures et demie de combustion, sur la grille inférieure, et 17 heures de combustion sur la grille supérieure :

1° Inférieurement. . .	2682 fagots
2° Supérieurement. . .	527 *id.*
Total. . . .	3209 fagots

à 8k.70 le fagot, faisant 28000 kil. pour 41 mètres cubes de chaux, ou 680 kil. combustible par mètre cube de chaux.

Pouzzolane.

La pouzzolane est un composé d'argile et de chaux grasse dans les proportions suivantes :

Chaux grasse. . . .	1 à 3 parties.
Argile.	9 à 7 *id.*

En moyenne : Chaux. . . . . . . 2 parties.
Argile. . . . . . . 8 *id.*

Elle sert à faire des mortiers, en mélange avec de la chaux et du sable, dans les proportions suivantes :

Chaux grasse . . . . . . 2 parties.
Sable. . . . . 4 *id.*
Pouzzolane. . . . . . . 0.33 *id.*

Ces mortiers prennent corps au bout de dix jours, tandis que sans pouzzolane, ils ne durcissent qu'au bout de vingt-cinq jours.

La Pouzzolane se cuit à la flamme de bois ou de charbon. La durée de la cuisson peut durer de trente à quarante heures de petit feu, et se fait dans des fours analogues à ceux de cuisson de la chaux. On fait des fournées de 7000 pains de pouzzolane, préparés dans des moules, et formant ensemble 11 mètres cubes.

La durée d'une fournée est de cinq jours, savoir :

1.0 jour pour charger le four;
1.5 *id.* pour la cuisson;
2.5 *id.* pour refroidissement et défournement.

Quand on veut employer la pouzzolane', on la broie sous une meule, dans un manège à mortier ordinaire, qui peut en débiter 2.m.c.500 par heure.

La pouzzolane est une matière destinée à rendre de grands services dans les constructions hydrauliques. Son usage n'est pas encore très-répandu, ce qui fait qu'on ne peut s'en procurer dans toutes les localités.

Nous donnons ci-dessous un compte de revient de cette matière pour une grande fabrication.

Prix de revient de 1 mètre cube de pouzzolane, à Digoin.

1 mètre cube de terre argileuse, y compris les frais de transport.	2 f. 50 c.
0.m.c.125 chaux grasse vive produisant 0.m.c.250 chaux éteinte en pâte.	2 50
Extinction de la chaux et mélange.	2 00
Transport des matières du manège à mélanger au moulage; moulage, dessiccation, 4 fr. 40 par 1000 pains	2 85
Transport des pains desséchés au hangar; charge du four.	3 00

Cuisson, 3.5 hectolitres houille d'Auvergne. . .	3 f.	50 c.
Transport après la cuisson.	0	75
Pulvérisation	5	50
	22	60
Entretien du four et des outils.	3	40
Total. . . .	26	00
Dans d'autres localités.	28	00

Frais d'établissement.

Un manège à mélanger.	500 fr.
Un four et ses abords.	600
Un hangar.	300
Un manège à pulvériser.	2600
Total. . . .	4000 fr.

Composition des mortiers.

Les compositions des mortiers varient dans chaque localité, suivant les matières qui les constituent. Il faut donc, avant de déterminer les proportions de ces matières qui doivent entrer dans leur composition, faire des essais et déterminer le mélange qui donne les meilleurs résultats.

On a trouvé, à Paris, que le meilleur mélange pour les mortiers est :

3 sable,
1 chaux éteinte.

En général, la quantité de chaux doit être égale, en volume, à l'espace vide qui existe entre les morceaux de la matière pulvérulente à laquelle on la mélange. Cet espace se détermine facilement en versant de l'eau dans un volume connu de cette matière, et en déterminant la quantité d'eau nécessaire pour affleurer le niveau supérieur.

Quand les proportions des matières composant le mortier sont déterminées, on éteint la chaux et on la réduit en pâte, après avoir préalablement dosé la chaux et le sable dans des brouettes de capacité déterminée. On fait une espèce de bassin avec le sable, et on jette la chaux non éteinte au milieu ; ensuite on jette l'eau, et quand la chaux a cessé de fuser, on ajoute de l'eau et on remue avec un rabot en fer, en mêlant de temps en temps du sable que l'on jette avec une pelle.

Quand les quantités de mortier à préparer sont considérables,

on fait usage d'un manège. Dans ce cas, on peut faire en une demi-heure une broyée de trois mètres cubes de mortier, à deux roues et deux chevaux.

Comme il faut le même temps pour vider, recharger, et faire reposer les chevaux, on compte une broyée par heure.

Béton.

Le béton est un mélange de mortier hydraulique et pierres concassées que l'on emploie dans les fondations exposées à l'eau.

On distingue le béton gras et le béton maigre, selon qu'il est plus riche en mortier qu'en pierre, ou réciproquement.

Le béton gras s'emploie pour les maçonneries qui ne doivent pas être perméables, comme les piles de ponts, par exemle. Pour ce béton, il faut que le cube du mortier soit plus considérable que celui des vides compris entre les pierres. On a trouvé que les vides étaient dans les proportions suivantes :

	Vides.
1 mètre cube de pierres concassées. .	0.$^{m.c.}$470
1 mètre cube de gravier..	0.$^{m.c.}$320

Nous parlerons plus au long de l'emploi de cette matière dans la construction des ponts et canaux, où elle joue un grand rôle.

LIVRE II.

ARCHITECTURE INDUSTRIELLE.

INTRODUCTION.

Nous croirions manquer au but de notre ouvrage, si nous entamions ici un cours d'architecture civile et artistique; d'autre part, nous croirions y laisser une lacune en gardant le silence sur cette branche de la construction, dont une partie importante est du ressort des ingénieurs, savoir :

Les cuisines,
Les latrines,
Les appareils de chauffage,
La ventilation,
Les conduits d'eau,
Les caves,

et autres qui sont malheureusement trop négligées par les propriétaires, bien que les vices de leurs dispositions soient de ceux qui incommodent le plus et le plus souvent les locataires.

Pénétré depuis longtemps de l'importance qu'il y aurait à diviser en deux parties la besogne de l'architecte, dont les études sont spécialement dirigées vers la construction proprement dite et l'ornement, nous allons traiter l'architecture sous le point de vue hygiénique, c'est-à-dire en ce qui concerne l'ingénieur, sans passer sous silence les principes indispensables qui président à la composition et à la construction des édifices, tant pour faciliter l'application des principes que nous émettrons que pour la construction en général, mécanique ou industrielle, où l'on en fait constamment usage.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ARCHITECTURE.

ARTICLE Ier.

DÉFINITIONS.

L'architecture a pour but la *composition* et la *disposition* des édifices.

La composition comprend la *construction* et la *décoration*.

La construction est l'art d'exécuter et d'élever un édifice dont la disposition a été indiquée avec des matériaux donnés.

La décoration est l'art de rendre la disposition agréable à l'œil.

Dans les édifices, on considère :

Les murs,
Les soutiens isolés,
Les portes,
Les fenêtres,
Les planchers,
Les voûtes,
Les couvertures,
Les escaliers.

1° *Murs.* Parmi les murs on distingue :

Murs de face,
Murs de refend,
Murs de clôture,
Murs de terrasse.

On nomme *mur mitoyen*, un mur qui sépare deux propriétés contiguës ;

Mur circulaire, un mur qui entoure une propriété ;

Mur isolé, un mur dont les extrémités ne sont pas reliées entre elles par d'autres portions de mur.

2° *Soutiens isolés.* Les soutiens isolés des murs peuvent être en pierre ou en bois : lorsqu'ils sont en bois, on les nomme *poteaux;* lorsqu'ils sont en pierre, on les nomme *piliers.* Quelle que soit leur nature, s'ils sont assujétis à des formes particulières, on les nomme :

Pilastres, quand leur section est quarrée ;

Colonnes, quand leur section est circulaire.

Les pilastres peu élevés, ou soutenant des voûtes, portent le nom de *pieds-droits.*

3° *Portes.* Les portes se composent de trois parties, savoir :

Le linteau,
Les pieds-droits,
Le seuil.

Le linteau est la partie supérieure ; les pieds-droits sont les deux soutiens du linteau ; le seuil est la partie inférieure.

Lorsqu'on entoure la porte d'un filet plus ou moins orné,

appelé *bandeau*, les pieds-droits portent le nom de *chambranles*.

4° *Fenêtres*. Les fenêtres se divisent en trois parties, savoir :

Le linteau,
Les pieds droits,
L'appui.

Les pieds-droits portent le nom de *chambranles*, quand la fenêtre est entourée d'un *bandeau*, comme pour les portes.

On surmonte quelquefois les portes et fenêtres des trois ornements suivants, savoir :

Une frise,
Une corniche,
Un fronton.

Le fronton est un toit à deux pentes, destiné à écarter les eaux pluviales ; nous verrons plus loin ce qu'on entend par frise et corniche.

5° *Planchers*. Les planchers sont destinés à séparer les étages ; on les divise en trois parties, savoir :

Le plafond,
La charpente ou carcasse,
Le carrelage ou parquetage.

6° *Voûtes*. Les voûtes sont, comme les planchers, destinées à séparer les étages. Elles diffèrent de ces derniers en ce qu'elles sont généralement en pierres, non posées à plat, comme les solives qui éprouvent seulement un effort de flexion sous la charge, mais formant arc, et exerçant une poussée sur les pieds-droits, appelés alors culées. (Voir *Coupe des pierres*, tome 1er.)

7° *Couvertures*. On donne ce nom à toute construction dont le but est de tenir un édifice à l'abri des eaux pluviales. Il existe plusieurs formes de couverture.

Lorsqu'elle consiste en un ou deux plans inclinés, elle porte le nom de *comble*.

Lorsqu'elle consiste en un plan horizontal, ou seulement incliné assez pour l'écoulement des eaux, elle porte le nom de *terrasse*.

Le comble à une seule pente se nomme *appentis*.

On distingue dans une couverture deux parties principales, savoir :

La charpente ou carcasse ;
La couverture proprement dite.

Dans les combles la carcasse se compose de fermes, et les fermes, de plusieurs parties principales, savoir (*Pl.* XX, *fig.* 6) :

a, arbalétriers,
b, entraits,
c, poinçons,
d, contrefiches,
e, jambette ou tirant, suivant l'usage,
f, pannes, ramures, ventrières.

Les pannes sont des pièces longitudinales, reliant les fermes entre elles, et supportant des pièces transversales appelées *chevrons ;* c'est sur les chevrons que se pose la couverture.

La panne supérieure, c'est-à-dire celle située à l'extrémité du poinçon, porte le nom de *faît.*

Les pannes inférieures, c'est-à-dire celles portant sur les murs, se nomment *sablières.* Les sablières diffèrent des pannes proprement dites, en ce qu'elles se placent au-dessus de l'entrait, et supportent, par conséquent, l'arbalétrier, au lieu d'être portées par lui.

Les couvertures sont tantôt en bois recouvert de tuiles ou d'ardoises, tantôt en fer ou fonte recouverte de zinc ou tôle de fer. La figure 6 représente le système de la couverture du marché de la Madeleine qui fut enlevée par un coup de vent.

8° *Escaliers.* Les escaliers sont des ouvrages destinés à relier les différents étages des édifices. Dans les escaliers on distingue :

La cage,
Le limon,
Les marches,
La rampe.

La *cage* est l'espace dans lequel se place l'escalier.

Le *limon* est le soutien intérieur des marches.

Les *marches* sont les degrés successifs où se mettent les pieds pour monter. Elles portent d'un côté dans les murs d'enceinte de la cage, de l'autre sur le limon.

On nomme contre-marche la partie verticale de la marche.

La *rampe* est un garde-corps en fer ou fonte placé sur l'hélice intérieure de l'escalier pour empêcher de trébucher.

On distingue deux espèces d'escaliers :

Les escaliers à noyau plein,
Les escaliers à noyau vide.

Dans les premiers, qui sont généralement cylindriques à

base circulaire, le cylindre intérieur est plein. Ces escaliers, qui sont petits, se construisent en pierre de taille; on en voit aussi dans les boutiques, en bois ou fonte, avec limon extérieur.

Les escaliers à noyau vide sont ceux dont l'intérieur est vide, comme dans la plupart des maisons d'habitation.

9° *Dimensions des différentes parties d'un édifice.* Ces dimensions, dont plusieurs sont arbitraires, doivent être assujéties à certaines règles, si l'on veut faire des constructions qui ne laissent rien à désirer, tant sous le rapport de l'aspect et de la convenance que sous celui de la solidité. Le tableau ci-contre a pour but de diriger, d'une manière sûre, dans la composition des maisons d'habitation, quelle que soit d'ailleurs leur importance.

ARTICLE II.

FORMES ET PROPORTIONS ARCHITECTURALES.

§ 1er. — MOULURES EN GÉNÉRAL.

On donne le nom de moulures à diverses dispositions de taille des matériaux de construction, pour satisfaire tantôt à certaines conditions d'élégance et de légèreté apparente, tantôt à des conditions de résistance contre les agents extérieurs de destruction.

On distingue dans les moulures :

1° Les masses,
2° Les moulures proprement dites,
3° Les assemblages de moulures.

Les masses sont des assemblages de moulures indiquées, mais non définies. Elles se composent de membres dont le nombre est variable; chaque membre est une moulure dont la forme n'est indiquée que par une ligne droite plus ou moins inclinée.

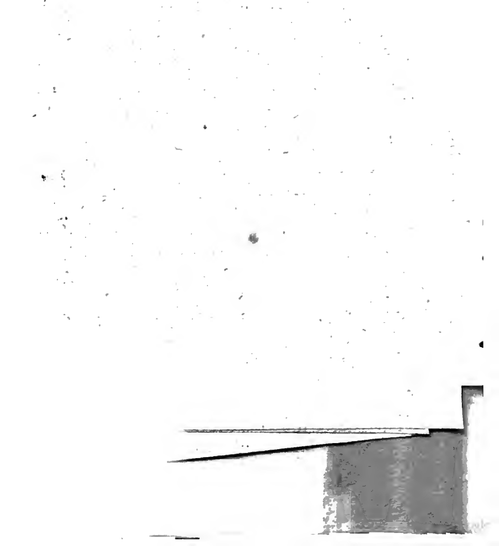
Les figures 7, 8, 9, 10, 11, 12 (*Pl.* XX) représentent différentes masses, savoir :

Fig. 7, masse de plinthe à un membre;
8, masse à deux membres;
9, 10, 11, 12, masses de *corniches* à trois, quatre, cinq et six membres;
13, 14, 15, masses d'*architraves;*
16 et 17, masses de *chapiteaux;*
18, masse de corniche et de base de piédestal.

…rties d'un Bât…

…IMENTS.		
…oyens.	Petits.	
…28	m. 0,82	Sup…
…20	0,735	
…11	0,675	
…00	0,550	
…82	0,50	
…675	0,45	
…550	0,41	

…ICATIONS.		BATIMENTS	
		Grands.	Petits.
	Diamètre.	m. 8,00	m. 6,00
E…	Largeur / Hauteur — pour 200 poules..	m. 2,60 / 3,50	m. 2,60 / 3,00



Les moulures se divisent en :

Moulures simples ,
Moulures composées.

Les figures 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, **représentent les** différentes moulures simples, savoir :

Fig. 19, a *congé*, b *filet* ;
20, *baguette ;*
21, *tore ;*
22, *quart de rond droit ;*
23, *quart de rond renversé ;*
24, *cavet droit ;*
25, *cavet renversé ;*
26, *canelures.*

Les figures 27, 28, 29, 30, 31, 32, **représentent les moulures** composées, savoir :

Fig. 27, *talon droit ;*
28, *talon renversé ;*
29, *doucine droite ;*
30, *doucine renversée ;*
31, *scotie ;*
32, *chapiteau inusité* (dorique grec).

Les figures de 33 à 45 représentent les divers **assemblages** de moulures usités dans la construction en **général, savoir :**

Fig. 33, *cymaise supérieure ;*
34, *larmier ;*
35, *modillons,*
36, *cymaise intermédiaire ;*
37, *larmier denticulaire ;*
38, *cymaise inférieure ;*
39, *astragale ;*
40, *cymaise de piédestal ;*
41, 42, 43, 44 et 45, *corniches à modillons et à consoles.*

§ 2. — LES CINQ ORDRES D'ARCHITECTURE.

Les cinq ordres d'architecture sont pour les uns :

Le dorique grec,
Le toscan,
Le dorique romain ;
L'ionique,
Le corinthien.

pour les autres :

Le toscan,
Le dorique romain,
L'ionique,
Le corinthien,
Le composite.

Il existe donc, en réalité, non cinq ordres, mais six ordres d'architecture.

Ce que nous avons dit précédemment sur les moulures est plus que suffisant pour les ingénieurs qui, par leurs travaux, peuvent être amenés à faire des bâtisses dans l'intérieur des usines qu'ils sont appelés à construire. Mais il n'en est pas de même des mécaniciens, qui construisent peu de machines dans lesquelles il n'est pas fait usage de l'un des six ordres précités; il est donc indispensable que nous entrions dans quelques détails sur leurs constructions et leurs caractères principaux.

Les figures 1, 2, 3, 4, 5 (*Pl.* XXI) représentent les proportions, pour un même usage, des cinq ordres primitifs, savoir :

Fig. 1, ordre dorique grec.
Fig. 2, ordre toscan.
Fig. 3, ordre dorique romain.
Fig. 4, ordre ionique.
Fig. 5, ordre corinthien.

Chaque ordre se compose, comme type, d'une colonne A montée sur un piédestal B et surmontée d'un entablement C; l'emplacement des moulures est figuré par des lignes droites plus ou moins inclinées, la présence de ces dernières n'étant pas utile pour le moment.

Le piédestal se divise en trois parties, savoir :

a, la *base*;
b, le *dé*;
c, la *corniche*.

La colonne se divise en trois parties, savoir :

d, la *base*;
e, le *fût*;
f, le *chapiteau*.

L'entablement se divise en trois parties, savoir :

g, l'*architrave*;
h, la *frise*;
i, la *corniche*.

On nomme *module*, l'unité de mesure des ordres d'architecture. La longueur du module varie suivant les dimensions de la construction à exécuter ; il se divise en douze parties.

On voit par les figures que :

1° La hauteur du piédestal est constante, ainsi que celle de chacune des parties qui le composent ; quel que soit l'ordre ; cette hauteur de *cinq* modules se répartit en trois, savoir :

Base.	1 module.
Dé.	3 1/2 *id.*
Corniche.	1/2 *id.*

2° Au fur et à mesure que la hauteur des colonnes augmente, leur espacement diminue : ainsi, pour une hauteur de douze modules, l'espacement des colonnes est sept modules ; tandis que, pour une hauteur de vingt modules, l'espacement n'est que de trois.

3° Le diamètre des colonnes est constant, quel que soit l'ordre, et égal, dans le bas, à *deux* modules.

Les figures 6, 7, 8, 9, 10 (*Pl.* XXI) donnent les détails des moulures le plus spécialement employées dans chacun des cinq ordres, savoir :

Fig. 6, ordre dorique grec,
Fig. 7, ordre toscan,
Fig. 8, ordre dorique romain,
Fig. 9, ordre ionique,
Fig. 10, ordre corinthien.

L'ordre dorique grec est le plus simple de tous, et, à cause de cette simplicité, un peu agreste ; il est rarement employé pour constructions dans les villes ; mais il convient parfaitement dans les endroits solitaires, au milieu des bois, ou pour monuments tristes, tels que prisons.

En Angleterre et en Amérique, on l'emploie beaucoup pour entablements de machines à vapeur : généralement, dans ce cas, les colonnes sont cannelées comme en *a* de la figure 26 (*Pl.* XX).

Le toscan est l'ordre qui est le plus généralement employé, soit dans les constructions, soit dans les machines.

D'une exécution facile et peu dispendieuse, quel que soit l'objet auquel on l'applique, il est doué d'une grâce et d'une légèreté qui en rendent l'aspect agréable partout.

ARTICLE III.

DE L'EXÉCUTION DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION.

Les constructions industrielles se font tantôt en pierres calcaires, tantôt en briques. Dans les pays où la pierre est abondante, il est rare que l'on n'emploie pas toujours une certaine quantité de briques, soit pour les constructions elles-mêmes, soit pour les appareils de chauffage ou de réactions chimiques, auxquels le calcaire ne résiste pas. Dans les pays, au contraire, où le calcaire est rare, presque tout se fait en briques, à l'exception des angles, corniches, bandeaux, chaînes verticales et horizontales, parties pour lesquelles on préfère la pierre de taille, comme susceptible d'une plus grande durée.

A part les environs de Paris, où l'on emploie le plâtre, ce roi des mortiers pour les constructions aériennes, le mortier exclusivement employé est la chaux jointe au sable ; nous ne reviendrons pas sur les propriétés de ces matériaux, dont nous avons relaté ci-dessus les principales.

Quels que soient les matériaux que l'on emploie, il arrive souvent, dans les constructions industrielles qui nécessitent de grands mouvements de terres, que l'on possède, sur place, soit partie, soit la totalité des matériaux nécessaires. Ce dernier cas s'est présenté à nous dans l'exécution d'une usine de hauts-fourneaux dans le Boulonnais.

Dans les hauteurs de l'usine se trouvaient :

1° A cinquante centimètres du sol, toute la pierre calcaire convenable pour faire de la chaux hydraulique naturelle; cette pierre se composait d'une infinité de fragments de la grosseur du poing, en moyenne, mélangés et entourés d'argile.

2° A un mètre, plus ou moins, du sol, se trouvaient, en couches parfaitement régulières, des bancs de calcaire dont la qualité est très-estimée dans le pays.

Dans le bas de l'usine se trouvait la terre à briques; le sable seul manquait.

C'est dans ces circonstances qu'il est convenable de bien calculer son temps pour l'exécution des travaux que l'on a à faire ; car, alors, il faut coordonner l'exploitation des pierres et la fabrication des briques avec l'exécution, de manière qu'aucune de ces deux parties ne fasse défaut à l'autre; ce que l'on craint moins quand il ne s'agit que de s'approvisionner au dehors.

De toutes les saisons, la plus propice pour les constructions est l'été.

Du 1er avril au 1er novembre, on peut toujours être sûr de faire des constructions convenables ; passé ce temps, on s'expose souvent à recommencer deux fois; il n'est pas rare, néanmoins, quand l'hiver n'est pas rigoureux, de voir les travaux se continuer pendant toute cette saison.

Mais, s'il est possible de construire, à la rigueur, toute l'année, il n'en est pas de même pour la fabrication des briques sur place, à moins que l'on ait des hangars disposés à cet effet, ce qui n'a généralement pas lieu.

La fabrication des briques doit commencer au plus tôt après les giboulées de mars, et, quelque promptitude que l'on apporte dans le travail, il n'est guère possible d'avoir une meule cuite, prête à employer, avant le 15 mai.

Quand le mois d'octobre arrive, les pluies commencent tellement à mouiller, et le soleil est si faible, que la meule de cette époque est de qualité très-médiocre; aussi, à notre avis, six mois sont-ils le *maximum* de temps que l'on peut consacrer, par année, à une fabrication de bonnes briques.

L'exploitation de la pierre se fait à toutes époques, mais spécialement à celles où l'on peut construire; car, de même que la neige et la gelée rendent la construction impossible, par suite de la congélation de l'eau du mortier, de même aussi elles nuisent à l'exploitation des pierres, la première en les couvrant, la seconde en les faisant fendre.

Les terrassements, comme les constructions, se font à toute époque, pourvu qu'il ne gèle pas; mais ils présentent cet avantage sur les maçonneries, que la gelée peut les interrompre sans leur nuire aucunement.

On peut donc établir que, pour un travail pressé, l'hiver doit être spécialement affecté aux terrassements, de manière que, le printemps arrivant, on puisse entamer les maçonneries sur tous les points.

Nous avons dit plus haut que les briques de l'année courante ne pouvaient être employées avant le quinze mai. Or, à partir du premier avril, il est possible de construire en toute sûreté; il faut donc que l'on ait des briques de l'année précédente pour alimenter les ouvriers.

Afin que l'on puisse se rendre compte de la quantité de briques nécessaires dans ce cas, nous dirons que, un bon ouvrier maçon en briques, travaillant douze heures par jour, con-

somme en moyenne 750 briques, d'où, par mois, 25 × 750 = 18750 briques, soit 20000. Donc, du premier avril au quinze mai, il est susceptible de consommer 30000 briques ; c'est donc un approvisionnement de cette quantité par ouvrier qu'il faut avoir au commencement de l'année pour que les travaux ne souffrent aucun retard.

Pour faire de bonnes briques, il ne suffit pas de tirer la terre, la délayer, puis ensuite la mouler, sécher, cuire, etc., il faut que la terre, destinée à la fabrication, ait séjourné au moins trois mois à l'air, après extraction, pour qu'elle ait du liant. En général, une terre argileuse n'est bonne à convertir en pâte que si, après extraction, elle est exposée soit à l'ardeur du soleil d'été, soit à une forte gelée dont les actions sont les mêmes, c'est-à-dire, amènent la désagrégation des molécules nécessaire pour une bonne manipulation. En conséquence, il est bon de diriger, l'hiver, une partie des terrassements vers l'extraction de la terre qui doit servir à fabriquer la brique de la campagne suivante. Pareille observation s'applique aux terrassements du printemps pour les briques d'automne. En résumé, plus la terre est anciennement extraite, meilleure est la qualité des briques.

Dans les terrains de terre à briques, voisins de terrains calcaires, il n'est pas rare de trouver dans cette terre une quantité plus ou moins grande de morceaux de craie, et même quelquefois de magnésie carbonatée. Là, alors, plus que jamais, il est convenable de laisser la terre longtemps exposée à l'air, avant de la pétrir ; car il est de toute nécessité que ces pierres soient extraites, ce qui se fait facilement avec le pied, dans la marche de la terre, quand cette dernière est bien divisée. La tolérance de ces petites pierres dans la brique amène les plus fâcheux résultats. En effet, la chaleur de la cuisson les convertit en chaux vive, et sitôt qu'elles sentent l'humidité, elles se gonflent et font casser les briques. Il est de la plus haute importance, dans le cas de briques de ce genre, de les plonger dans l'eau avant de s'en servir ; nous avons vu souvent une seule brique, placée dans une maçonnerie, sans avoir été préalablement mouillée, se gonfler et soulever vingt rangs placés au-dessus d'elle. Quand elles sont plongées dans l'eau, au contraire, s'il y a une pierre de chaux, elle ne tarde pas à se gonfler et à fendre la brique : on sait alors comment l'employer et on n'a rien à craindre.

L'importance d'une fabrication de briques se mesure par le

nombre des tables qu'elle emploie. Une table de briquetier, desservie par des ouvriers belges, peut fournir en moyenne par mois 40000 briques. La fabrication se paie à raison de 6 fr. le mille de briques cuites, l'extraction de la terre, le combustible et la fourniture des outils, paillassons, et sable étant à la charge du propriétaire. Dans ce cas, le travail étant bien conduit, tant de la part du maître briquetier que de celle du propriétaire que le briquetier cherche à frauder de toutes les manières possibles, un mille de briques, propres à employer, revient à 12 fr. ou 12 fr. 50 au plus, suivant le prix du combustible.

Organisation des terrassements.

Dans les terrassements, il y a trois besognes, savoir :

Le travail de la pioche;
Le travail de la pelle;
Le travail de la brouette.

De ces trois besognes, la plus dure est celle de la pioche; après elle vient celle de la pelle ; la brouette est la plus facile.

Il est donc important, quand on établit un chantier de terrassements, de répartir les hommes suivant leur force et surtout leur ardeur, dans chacune de ces trois classes, et de les payer proportionnellement à la différence de peine qu'exigent ces trois besognes. Si, par exemple,

La paie des piocheurs est.	1	0
Celle des pelleurs doit être. . . .	0	9
Celle des brouetteurs.	0	8

Les différences entre ces trois besognes n'ont réellement lieu qu'autant que les ouvriers sont activement surveillés, quand ils travaillent à la journée, les travaux à l'entreprise n'étant pas toujours possibles.

Un moyen qui nous a parfaitement réussi, pour rendre la surveillance plus facile et la garantie du travail plus certaine, a été de convertir la masse des ouvriers terrassiers en chantiers de quatre hommes, savoir :

1 piocheur-chef,
1 piocheur,
2 pelleurs et brouetteurs, alternativement,

possédant : 2 pioches,
2 pelles,
2 brouettes,

dont ils étaient responsables.

La paie du piocheur non chef étant 1, celle du chef était 1.1, et celle des deux autres 0.9.

Une classe spéciale de brouetteurs, payée à raison de 0.8 par jour était affectable en nombre suffisant à chacun des chantiers dont les relais dépassaient 10, 15 ou 20 mètres, suivant l'inclinaison du terrain. De cette manière, il nous a été possible d'employer depuis les jeunes gens de 15 et 16 ans jusqu'aux vieillards de 60 ans, sans détriment pour l'usine, chose importante, lorsque les manœuvres deviennent rares, ce qui a lieu à l'époque des moissons et des vendanges, selon les localités.

Nous terminerons ces détails par un exposé des prix que paie la ville de Paris pour l'entretien des constructions publiques destinées au service des eaux. Nous observerons que les prix, en province, sont généralement inférieurs; ainsi, une journée de manœuvre qui se paie à Paris 2 fr. 50, se paie en province 1 fr. 25 à 1 fr. 75; une journée de tombereau, cotée 14 francs à Paris, se paie en province 9 francs à deux chevaux, et 10 francs, et ainsi de suite.

Le mètre cube de terre à briques s'extrait à raison de 50 centimes; à Paris, il coûte, en glaise plastique, 6 francs.

SÉRIE DE PRIX

des divers Ouvrages à faire pour la conservation, l'entretien et la réparation des Aqueducs, Galeries, Fontaines, etc., dans l'intérieur de Paris.

En Province : **SECTION 1re. — TERRASSEMENTS. — 1° *Prix élémentaires.***

Main-d'œuvre = 0.6 de Paris.
Voitures. . : = 0.7 *idem.*

Nos des Articles.	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts.	1/20 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix comprenant faux frais et bénéf.
	(*Nota.* Toutes les journées sont de 10 heures.)				
1	Une journée de terrassier piocheur.	2 f. 50	0 f. 12	0 f. 26	2 f. 88
2	*id.* de manœuvre, pelleur, brouetteur...	2 20	0 11	0 23	2 54
3	*id.* de manœuvre employé à l'enlèvement des immondices, et épuiseur de jour. . . .	2 15	0 11	0 23	2 49
4	Une nuit d'épuiseur.	2 60	0 13	0 27	3 »
5	Une journée de gardien..	1 50	0 08	0 16	1 74
6	Pour la nuit *id.* 1/7 en sus.	» »	» »	» »	2 »
7	Une journée de tombereau à 2 chev., condr compris	14 »	0 70	1 47	16 17
7 *bis.*	On comptera le temps employé par le tombereau ; cependant, pour un seul voyage, on ne paiera pas moins de	» »	» »	» »	3 »
	(Cette observation s'appliquera à tous les articles)				
8	Glaise, un mètre cube.	6 »	» »	0 60	6 60

2° *Prix composés.*

9	Un mètre cube de déblai employé au remblai. Fouille. . . . . 1 h. de piocheur à 0 f. 288 l'h. (N° 1), à.	0 f. 288
	2 jets sur banquette. . . . 0 h.70 Reprise ou deuxième fouille 0 70 } 2 h. de terrassier à 0,254 l'h. (N° 2). . Pilonage. 0 60	0 508
		0 796
10	Transport par brouette d'un mètre cube de terre à un relai de 30.^{m} en terrain horizontal, et de 20.^{m} en rampe inclinée, de 5 à 10 f. par mètre, 0 h.40 de rouleur à 0,254 l'h. (N° 2).	0 10
	(*Nota.* Lorsqu'il y aura des rampes plus rapides, le prix du relai de 20.^{m} augmentera d'un centime par 0.^{m}01 de pente par mètre de plus.	
11	Transport par tombereau d'un mètre cube de terre à 100.^{m} de distance. Temps perdu pendant le chargem^{t} et le déchargem^{t}. 0 h.25 } 0 h.315 d'un tombereau payé 1 f. *id.* employé à parcourir 100.^{m} aller et retour. . 0 065 } 617 c. (N° 7)....	0 51
12	Pour tous autres relais de 100.^{m}, aller et retour, 0 h.065 d'un tombereau. . .	0 106
13	Régalage d'un mètre cube de terre employé en remblai sans sujétion, 0 h..15 de régaleur à 0,254 (N° 2).	0 04
14	Régalage d'un mètre de terre et pilonage par couches de 0.^{m}15^{c} d'épaisseur 0 h.60 de manœuvre à 0,254 (N° 2).	0 15

15	Régalage pour dressement de talus, terre-plein, etc., au mètre quarré, 0 h. 10 de manœuvre à 0,254.	0 f. 03
16	Un mètre cube de remblai en gravois déposés par des voituriers étrangers.	
	Prime payée aux voituriers.	0 10
	Frais de préposé pour compter les tombereaux.	0 05
	Régalage et pilonage (N° 15).	0 15
		0 30
17	Un mètre cube de déblai transporté aux décharges publiques (prix moyen, quelle que soit la distance).	
	Fouille, 1 h. de piocheur à 0 f. 288 (N° 1).	0 288
	2 jets et reprise comme au N° 9... 1 h. 40 } 1 h. 75 d'un manœuvre à 0,254 l'h.	0 445
	Charge dans un tombereau. . . 0 35 }	
	Transport à 900.m (N° 11). . . 0 85 d'un tombereau à 1 f. 617 (N° 7). .	1 374
		2 107
18	Voyage d'un tombereau à 2 chevaux et cubant 1.m pour enlever des immondices.	
	Charge. *idem* 0 h. 35 de manœuvre, à 0 f. 254 l'h.	0 089
	Transport à 1,650.m, 1 h. 35, d'un tombereau à 1 f. 617.	2 183
		2 272
19	Un mètre cube de corroi en glaise.	
	Fourniture. . . { Un mètre cube de glaise N° 8.	6 60
	{ $^1/_{20}$ de déchet.	0 33

	Report	6f. 93
	Main-d'œuvre { Pour la réduire en morceaux, la pétrir, l'humecter. . . . . 10h. » ; Chargement en brouette et déchargem^t. 1 25 ; Transport à un relai à cause du poids. 0 50 ; Emploi.. . . . . 1 » } 12h.75 de terrassement à 0,254 l'h. (N° 2). . . .	3 23
		10 16
20	*Plus-value pour les terrassements exécutés sous les voûtes d'égoûts ou de galerie.* Il sera payé 1° pour difficulté du travail une plus value égale à une fois ½ la main-d'œuvre ; 2° pour frais d'éclairage et autres par mètre cube. . . .	2 »

SECTION II. — PAVAGE. — 1° *Prix élémentaires.*

Nos d'ordre	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts.	1/12 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec fauxfrais et bénéf.
21	Une journée de compagnon paveur.	3f. 25	0f. 27	0f. 35	3f. 87
22	*id.* de manœuvre au service des paveurs.	2 20	0 18	0 24	2 62
23	*id.* d'une voitureà 2 chev., cond^r compris.	14 00	1 18	1 52	16 70
24	*id.* d'une voiture à 3 chev., *id.*. . .	20 00	1 67	2 17	23 84
25	Le mètre cube de terre salpêtrée.	3 00	» »	0 30	3 30
26	Le cent de pavés entiers neufs venant de Fontainebleau, ayant 0.^{m}20^c de face..	27 72	» »	2 78	30 50

27	Fontainebleau à 16 $^{65}/_{100}$ au mètre quarré. . .	34f. 00	» »	3f. 40	37f. 40
28	Le cent de pavés de Fontainebleau, ayant 0.m080 sur 0.m08 ou 0.m09.	16 36	» »	1 64	18 00
29	Le mètre cube de chaux hydraulique vive. . .	45 00	» »	4 50	49 50
30	*id.* de sable.	4 50	» »	0 45	4 95

2° *Prix composés.*

31	Un mètre quarré de pavés pour démontage, transport à 1,000.m dans un dépôt loué par l'entrepreneur, et rangement.	
	Main-d'œuvre { Démontage. . . . . . . 0h.20 d'un pavr à 0,387 (N° 21).	0f. 077
	Main-d'œuvre { Charge dans le tombereau. 0 20 ; Rangemt dans le chantier.. 0 20 ; 0 20 } 0 h. 60 d'un manœuvre à 0,262.	0 157
	Main-d'œuvre { Transport à 1,000.m, 0h.12 d'une voit. à 3 chev. à 2f.384 (N° 24).	0 286
	Location d'un chantier..	0 030
		0 550
32	Un mètre quarré de pavés pour transport du dépôt au lieu de l'emploi en blocage sur forme de sable de 0.m05.	
	Fourniture de 0.m05 de sable à 4f. 95 (N° 30).	0 242
	Main-d'œuvre { Charge et transport des pavés comme au détail précédent....	0 338
	Main-d'œuvre { Façon { 0h.40 d'un paveur à 0,337.. . 0f. 155 ; 0 40 d'un manœuvre à 0,262.. . 0 105 } . . .	0 260
	Main-d'œuvre { Entretien $^{1}/_{10}$ de la main-d'œuvre précédente.	0 026
		0 866

33	Un mètre quarré de pavés pour déblocage et rangement.		
	Démontage comme au détail N° 29.	0f.	129
	Rangement *id.*	0	052
		0	181
34	Un mètre quarré de pavés pour blocage seulement.		
	Approche, comme pour le rangement.	0	052
	Façon, comme au N° 30	0	260
	Entretien.	0	026
		0	338
35	Un mètre quarré relevé à bout sur forme vieille de sable.		
	Fourniture. { 0.m10 de sable pour rafraîchir la forme et recouvrir l'ouvrage, à 4 f. 95 (N° 62).	0	50
	Main-d'œuvre { Arrachage, rangement de pavés, piochage de la forme, façon 0h.60 d'un paveur et de son aide, à 0,65.	0	39
	Chargement et transport des écales.	0	08
		0	97
36	Un mètre quarré de pavage en pavés de rebuts pris sur place, posés sur forme neuve de sable.		
	Fourniture. { 25 pavés vieux (mémoire).	»	»
	0,20 de sable à 4 f.95, dont 0,15 pour la forme, 0,03 pour les joints et 0,02 pour recouvrir l'ouvrage.	0	99
	Main-d'œuvre { 0,60 d'un paveur et de son aide à 0 f. 65.	0	39
	Enlèvement des écales, etc.	0	07
		1	45

37	Un mètre quarré de pavage en pavés neufs d'échantillon sur forme neuve de sable.	
	Fourniture. . . { 20 pavés, à 30 f. 50 le %.	6 f. 10
	{ 0.m20 de sable à 4,95.	0 99
	Main-d'œuvre, 0 h. 60 d'un paveur et de son aide payés à 0,65 l'heure..	0 39
		7 48
38	Un mètre quarré de pavage en pavés de rebuts remaniés et maçonnés en terre salpêtrée.	
	Fourniture. . . { 0,02 de sable pour recouvrir l'ouvrage, à 4,95.	0 10
	{ 0,20 de terre salpêtrée, à 3 f. 30.	0 66
	Main-d'œuvre, 0 h. 70 d'un paveur et de son aide à 0,65.	0 46
		1 22
39	Un mètre quarré de pavage sur mortier de chaux hydraulique relevé à bout sur forme vieille.	
	Fourniture. . . { 0.m02 de sable pour recouvrir l'ouvrage, à 4 f. 95.	0 10
	{ 0 05 de mortier, à 20 f. 35.	1 02
	Main-d'œuvre comme à l'article précédent.	0 46
		1 58
40	Un mètre superficiel de pavage en pavés d'échantillon de 0.m20 de côté, posés sur forme de sable et mortier hydraulique.	
	Fourniture. . . { 20 pavés à 30 f. 50 le cent.	6 10
	{ 0.m08 de sable pour la forme et pour recouvrir l'ouvrage, à 4 f. 95.	0 40
	{ 0.m07 de mortier à 20 f. 35.	1 42
	Main-d'œuvre, 0 h. 80 d'un paveur et de son aide payés à 0 f. 65 l'heure.	0 52
		8 44

41	Un mètre superficiel de pavage en pavés de deux posés sur forme neuve de sable en mortier de chaux hydraulique et sable de rivière.	
	Fourniture. . . 25 pavés à 18 f. le cent (N° 28).	4f. 50
	0.m08 de sable pour la forme, à 4,95.	0 39
	0.05 de mortier de chaux hydraulique et sable, à 20,35. . .	1 04
	Main-d'œuvre, 0 h. 80 d'un paveur et de son aide payés 0 f.65 (Nos 21 et 22). .	0 52
		6 45
42	Un mètre quarré de pavage en pavés de deux remaniés sur forme neuve de sable et maçonnés en mortier hydraulique.	
	Fourniture. . . 0.m08 de sable comme plus haut.	0 39
	0 05 de mortier *id.*	1 04
	Main-d'œuvre, 1 h. d'un paveur et de son aide payés 0 f. 65 l'heure. . . .	0 65
		2 08
43	Un mètre superficiel de pavage en pavés cubiques de 0.m16 de côté, dressés avec le plus grand soin et posés en losanges.	
	Fourniture. . . 32 pavés à 36 f. le cent.	11 52
	0.m08 de sable à 4,95.	0 39
	0 06 de mortier hydraulique à 20,35.	1 22
	Main-d'œuvre, 2 h. d'un paveur et de son aide payés 0 f. 65.	1 30
		14 43
44	Un mètre quarré de dallage en lave d'Auvergne posée sur une couche de sable avec mortier hydraulique.	
	Fourniture. . . 1 mèt. quarré de dalles de 0.m065 d'épaisseur rendues sur place.	11 85
	0.m20 de sable à 4 f. 40	0 88
	0 04 de mortier hydraulique à 20 f. 35.	0 91

	Report.	13f.	64
	Main-d'œuvre, 2 h. d'un maçon et de son aide à 6 f. 50.	1	30
		14	94
45	Un mètre courant de bordures en granit de 0.m32 de largeur et 0.m20 de hauteur, pour fourniture et pose sur un massif de moellon.		
	Fourniture. 1.m courant de bordure en granit rendue sur place.	13	70
	Fourniture. Moellons pour former le massif, 0.m08 à 9 f. 90.	0	79
	Fourniture. Mortier pour former le lit de pose et refouler dans les joints du massif 0.m035 de mortier à 22 f. 70.	0	79
	Main-d'œuvre, 1 h. 1/2 d'un maçon et de son aide.	0	97
		16	25
46	Un mètre courant de trottoir, composé d'une bordure en granit de 0.m320 de large, 0.m20 d'épais, et de dalles en lave d'Auvergne de 0.m065 d'épaisseur pour fourniture et pose.		
	De 1.m00 de largeur.	28	03
	1 15 id.	30	47
	1 30 id.	32	92
	1 50 id.	36	17
	1 62 id.	38	12
	1 80 id.	41	05
	2 » id.	44	30
	2 50 id.	52	48
	3 » id.	60	56

47	Un mètre courant de trottoir, pour dépose, rangement et pose.	
	De 1.m00 de largeur.	5f. 72
	1 15 id.	6 37
	1 30 id.	7 02
	1 50 id.	7 91
	1 62 id.	8 44
	1 80 id.	9 21
	2 00 id.	10 09
	2 50 id.	12 28
	3 00 id.	14 47

SECTION III. — MAÇONNERIE. — 1° *Prix élémentaires.*

Nos d'ordre	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts.	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec fauxfrais et bénéf.
48	Une journée de maçon ordinaire ou limousin. . .	3f. 00	0f. 30	0f. 33	3f. 66
49	*id.* *id.* employant le plâtre. . . .	3 75	0 38	0 41	4 54
50	*id.* de manœuvre au service des maçons. .	2 00	0 20	0 22	2 42
51	*id.* *id.* au service des bardeurs.	2 30	0 23	0 25	2 78
52	*id.* de contreposeur.	3 25	0 33	0 35	3 93

53	*id.* de tailleur de pierre, de poseur, de scieur de pierre.	4f. 00	0f. 40	0f. 44	4f. 84
54	*id.* de bardeur.	2 75	0 28	0 30	3 53
55	*id.* de tombereau ou binard à 2 chevaux, conducteur compris.	14 00	1 40	1 54	16 94
56	*id.* de tombereau à 1 chev., cond[r] compris.	8 50	0 85	0 94	10 29
57	Un mètre cube de moellons durs.	9 00	» »	0 90	9 90
58	*id.* de meulière.	10 30	»	1 03	11 33
59	*id.* de pierre de taille de roche. . . .	60 00	»	6 00	66 00
60	*id.* de pierre de taille franche d'Arcueil.	48 00	»	4 80	52 80
61	*id.* de pierre de taille de Vergelé, de S[t]-Leu.	37 00	»	3 70	40 70
62	Un kilogr. de ciment romain, Pouilly et Vassy. .	0 15	»	0 02	0 17
63	Un mètre cube de sable.	4 50	»	0 45	4 95
64	*id.* de cailloux.	5 50	»	0 55	6 05
65	*id.* de chaux grasse vive.	48 00	»	4 80	52 80
66	*id.* de chaux hydraulique naturelle ou artificielle vive.	45 00	»	4 50	49 50
67	*id.* de chaux de Senonche.	80 00	»	8 00	88 00
68	*id.* de pouzzolane artificielle. . . .	50 00	»	5 00	55 00
69	*id.* de plâtre.	18 00	»	1 80	19 80
70	Un lampion terrine, grand modèle, pour l'éclairage des tranchées.	0 60	»	0 06	0 66

2° *Prix composés.*

1° *Mortiers, bétons, chapes et enduits.*

N°	Désignation	f.	c.
71	Un mètre cube de chaux hydraulique éteinte.		
	Fourniture. { 1.^{m}19 de chaux vive mesurée au dépôt se réduit à 1.^{m}00 par son transport au lieu de l'emploi, et produit 1.^{m}67 de chaux vive. Le mètre cube de chaux éteinte exige donc 0.^{m}74 de chaux vive mesurée au dépôt, à 49 f. 50 rendue sur l'atelier N° 65, ci, pour les 0.^{m}74.	36 f.	63
	Frais de bassin.	0	92
	Main-d'œuvre. Extinction, 7 h. de manœuvre, à 0 f. 242 l'heure (N° 50).. .	1	69
		39	24
72	Un mètre cube de chaux de Senonche éteinte.		
	Fourniture. . . { 0.^{m}74 de chaux de Senonche à 88 f. (N° 67).	65	12
	Frais de bassin.	0	92
	Main-d'œuvre, comme à l'article précédent.	1	69
		67	73
73	Un mètre cube de mortier composé de chaux hydraulique et 0.^{m}333 de sable.		
	Fourniture. . . { 1.^{m} de sable à 4 f. 95 (N° 62).	4 f.	950
	0 333 de chaux éteinte y compris déchet, à 38 f. 24 (N° 70).	12	734
	Main-d'œuvre { Chargement du sable et approche à 2 relais, 2 h.00; *id.* de la chaux. . . . . 1 20; Façon du mortier. . . . . 1 80 } 11 h. de manœuvre à 0 fr. 242 l'h. (N° 50).	2	662
		20	346

74	Un mètre cube de mortier composé de 0.m970 de sable et 0,388 de chaux.		
	Fourniture. . . { 0.m97 de sable à 4 f. 95.	4 f.	800
	{ 0 388 de chaux à 38 f. 24..	14	837
	{ 0 040 de pouzzolane artificielle, à 55 f. le mètre cube. . .	2	200
	Main-d'œuvre comme à l'article précédent..	2	262
		24	499
75	Un mètre cube de mortier de sable et chaux de Senonche.		
	Fourniture. . . { 1.m 00 de sable, comme ci-contre..	4	950
	{ 0 333 de chaux éteinte, déchet compris, à 67 f. 73 (Nº 72)...	22	554
	Main-d'œuvre, comme plus haut.	2	662
		30	166
76	Un mètre cube de mortier de ciment romain et sable.		
	Fourniture. . . { 300 k. de ciment romain à 0 f. 17..	51	000
	{ 0 m80 de sable à 4 f. 95..	3	960
	Main-d'œuvre, façon du mortier, 4 journées de manœuvres à 2 f. 42. . . .	9	680
		64	64
77	Un mètre cube de béton ordinaire mis en place et pilonė.		
	Fourniture. . . { 0.m520 de mortier de chaux hydraulique factice à 20 f. 346 (Nº 75).	10	579
	{ 0 780 de cailloux à 6 f. 05 (Nº 63).	4	719

No	Désignation		Prix
	Report.		15 f. 298
	Main-d'œuvre { Passage des cailloux à la clef. . . 1 h.00 ; Charge et transport à 2 relais. . 0 75 ; *id.* du mortier à *id.* . . 0 50 ; Mélange du mortier et des cailloux 3 00 ; Emploi et pilonage du béton. . 4 75 }	10 h. de manœuv. à 0 f. 242. . .	2 420
	id. *id.* 2 00	de maçon à 0 f. 366 (Nº 48).	0 732
			18 450
78	Un mètre cube de béton gras.		
	Fourniture. . { 0.m55 de mortier à 24 f. 50.		13 475
	Fourniture. . { 0 77 de cailloux à 6 f. 05.		4 660
	Main-d'œuvre, emploi comme ci-dessus.		3 152
	Déplacement des châssis.		0 713
			22 000
79	Un mètre quarré de chape ou d'enduit de 0.m08 d'épaisseur en mortier hydraulique.		
	Fourniture, 0.m08 cubes de mortier, à 24 f. 50 (Nº 73).		1 960
	Main-d'œuvre { Transport du mortier, 1 h. de manœuvre à 0 f. 242. . . .		0 242
	Main-d'œuvre { Emploi et lissage du mortier, 2 h. de maçon à 0 f. 366. . .		0 732
			2 934

Nota. — Si la chape a moins de 0.m08, le prix se réduira à raison du volume du mortier employé. L'enduit sur un vieux mur se paiera 0 f. 50 de plus pour refouillement du parement, nettoyage et lavage.

2° *Maçonnerie, moellon et meulière avec mortier de chaux.*

80	Un mètre cube de maçonnerie de moellon hourdé avec mortier de chaux hydraulique.	
	Fourniture. . . { 1.m10 de moellons, y compris déchet, à 9 f. 90 (N° 56).. .	10 f. 890
	{ 0 30 de mortier à 20 f. 35 (N° 73).	6 105
	Main-dœuvre { Emmétrage, charge et approche à 2 relais, 3 h. 00 } 7 h. de man. . . . . . . 4 00 } à 0 f. 242.	1 694
	{ Façon de la maçonnerie { . . . . . 7 00 de maçon à 0 f. 366..	2 562
		21 251
81	Un mètre cube de maçonnerie de meulière hourdée avec mortier de chaux hydraulique.	
	Fourniture. . . { 1.m05 de meulière à 11 f. 33 (N° 57).	11 897
	{ 0 35 de mortier à 20 f. 35.	7 120
	Main-d'œuvre, comme pour la maçonnerie de moellons.	4 256
		23 273
82	Un mètre cube de maçonnerie de meulière avec mortier hydraulique pour pavage des radiers.	
	Fourniture, meulière et mortiers comme ci-dessus.	19 017
	Main-d'œuvre { Emmétrage, charge et approche 3 h. } 8 h. de manœuvre, à { Façon de la maçonnerie { . . . 5 } 0 f. 242 l'heure. .	1 936
	{ . . . 10 de maçon, à 0 f. 333 l'h.	3 660
		24 613

83	Un mètre quarré de parement ou de maçonnerie de moellons ou de meulière pour demi-smillage et pour rejointoiement dans les galeries, y compris les frais d'éclairage.	1 f. 35
84	Un mètre quarré de parement ou de moellons ou meulière pour demi-smillage et pour rejointoiement en mortier de sable et ciment romain.	
	Fourniture. . . { 0.^{m}01 de mortier de ciment romain à 64 f. 64 (N° 75). . .	0 646
	{ Eclairage.	0 190
	Main-d'œuvre, 0 h. 16 d'un maçon et de son aide à 6 f. 08.	0 972
		1 808
85	Un mètre cube de maçonnerie de moellon de démolition hourdi avec mortier hydraulique.	
	Fourniture de mortier comme au détail N° 80.	6 105
	Main-d'œuvre comme au détail N° 81.	4 256
		10 361
86	Un mètre cube de maçonnerie de moellon pour démolition, transport et emmètrage.	
	Démolition. . . . . 9 h.00 } Charge et bardage à 2 relais 2 50 } 13 h. de manœuvre à 0 f. 23 (N° 30). . . Emmètrage. . . . . 1 50 }	2 99
87	Un mètre quarré de rejointoiement sur vieux mur en moellon ou meulière. .	1 00

3° *Maçonnerie de pierre de taille.*

88	Un mètre cube de maçonnerie de pierre de roche dure de Châtillon.		
	Fourniture. . . { 1.m20 de pierre, y compris déchet, à 66 f. le mètre (N° 58). .	79 f.	200
	{ 0 07 de mortier hydraulique à 20 f. 350 (N° 73).	1	425
	Main-d'œuvre { Bardage et approche. { 0 h.70 de cheval à 0 f. 55 l'h. . . 0 f. 385 ; 2 50 de bardeur à 0 333 l'h. (N° 54) 0 833 ; 15 00 de manœuv. à 0 278 l'h. (N° 51) 4 190 } …	5	408
	{ Pose et garni des lits et joints { 3 00 de poseur à 0 484 l'h. (N° 53) 1 452 ; 8 00 de contrepr à 0 393 l'h (N° 52) 3 144 ; 3 00 de manœuv. à 0 278 l'h. (N° 51) 0 834 } …	5	420
		91	433.
89	Un mètre cube de maçonnerie de pierre franche d'Arcueil pour puits de galerie.		
	Fourniture. . . { 1.m20 de pierre, y compris déchet, à 52 f. 80 (N° 64). . . .	63	360
	{ Mortier comme au détail précédent.	1	589
	Main-d'œuvre comme au détail précédent.	10	287
		75	236
90	Un mètre cube de maçonnerie de pierre de Vergelé tendre ou St.-Leu.		
	Fourniture. . . { 1.m20 de pierre, y compris déchet, à 40 f. 70 (N° 60). . . .	48	840
	{ Mortier comme au détail N° 83.	1	425
	Main-d'œuvre comme au détail N° 84.	10	828
		61	093

91	L'emploi de la vieille pierre sera payé au même prix que.	12 f. 253
92	Borne en granit de 0.m33 de hauteur de fût et de 0.m65 de culasse pour fourniture et pose.	
	Fourniture. . . { Borne, y compris bénéfice.	37 000
	{ 0.m33 de maçonnerie de moellon à 21 f. 639 (N° 77).	7 141
	Main-d'œuvre { 0.m50 d'un maçon à 3 f. 33 (N° 48).	1 665
	{ 0 50 d'un manœuvre à 2 f. 30 (N° 50).	1 150
		46 956
93	Cuvette en pierre de roche dure sous la grille d'égoût.	140 000
94	Châssis percé, en pierre de roche dure, sous les trappes, tout posé.	145 000
95	Pierre de roche dure taillée en souillard pour les bornes fontaines.	40 000
96	Un mètre cube de pierre de taille pour démolition et rangement.	
	Démolition, moitié du prix de la pose (N° 88)..	2 577
	Bardage, trois quarts de celui de la pierre neuve (N° 88).	3 849
		6 426
97	Un mètre quarré de parements vus de pierre de roche pour tailles, y compris celle des lits et joints, ragréments et rejointoiements.	
	1.m quarré de parements.. . . . 8 h. 000 } 3.m quarrés de lits et joints. . . 8 000 } Hérasements des lits et joints.. 3 000 } Ragréments et rejointoiements. 1 666 } 2 journées 6 h. 66 de tailleur de pierre à 4 f. 84 (N° 53). . . .	10 000

98	Pour pierre franche d'Arcueil, 3/4 du prix ci-dessus.	7 f. 50
99	Pour le vergelé tendre, moitié du prix de la roche dure.	5 00
100	Abattage d'un mètre cube de pierre de roche pour formation d'angles saillants, rampants ou chantier.. 7 journées 438 de tailleur de pierre à 4 f. 84 (N° 53).	36 00
101	*id.* *id.* sur le tas, 1/4 en sus.	1/4
102	Le même ouvrage sur la pierre franche d'Arcueil, 3/4 du prix ci-dessus.	27 00
103	*id.* *id.* sur le vergelé tendre, 1/2 du prix payé pour la roche dure.	18 00
104	Evidement d'un mètre cube de pierre de taille, entre deux côtés conservés, non compris la taille après l'évidement.	45 00
105	Un quart en sus sur le tas.	1/4
106	Refouillement à la pioche et au poinçon pour percement de trous dans la roche.	120 00
107	Pour la pierre franche et le vergelé, l'évidement et le refouillement seront payés dans le même rapport que l'abattage..	» »
108	Parement de pierre de taille de démolition rendue au chantier ou sur le tas pour retaille, y compris lits et joints, ragréments et rejointoiements. {0.m03 au plus / 0 06 *id.* / Plus de 0,06} elle sera payée {moitié / 3/4 / la totalité} du prix de la taille de la pierre neuve.	» »

109	Un mètre courant de joints sur maçonnage de pierre de taille neuve refaits en mortier de chaux hydraulique et sable, y compris échafaudage.	0	20
110	Le même sans échafaud.	0	10
111	Le même sur vieille maçonnerie avec nétoiement des joints et avec échafaud. .	0	30
112	Le même sans échafaud.	0	20
113	Un mètre courant de joints en ciment romain, compris dégradage au vif et lissage sans échafaud sur pierre neuve.	0	30
114	Lissage sans échafaud sur vieille pierre.	0	40
115	Plus value pour sujétion lorsque les ouvrages sont exécutés sous les égouts, galeries, etc.		
	Pour tous les travaux de démolition et de maçonnerie exécutés sous les voûtes des égouts, galeries, etc., on paiera 1° une plus value égale à une fois et demie les frais de main-d'œuvre.		
	2° Pour frais d'éclairage et autres, par mètre cube.	2	00
	4° Ouvrages en plâtre.		
116	Un mètre cube de maçonnerie de moellon, hourdé en plâtre.		
	Fourniture. . . { Moellon et déchet..	10	89
	{ 0 25 de plâtre, à 19 f. 80 le mètre cube.	4	95

	Report.	15 f.	84
	Main-d'œuvre { Emmétrage et bardage, 2 h. 50 de manœuvre à 0 f. 266..	00	67
	{ Façon, 4 h. 50 d'un maçon et de son aide à 0 f. 617.	2	77
		19	28
117	Un mètre quarré de parement de maçonnerie de moellon hourdé en plâtre pour sujétion des parements et rejointoiements.		
	0.m01 de plâtre à 19 f. 80.	0	20
	1 h. 00 de maçon à 0 387..	0	39
		0	59
118	Un mètre quarré de bois hourdé et enduit en plâtre des deux côtés, lequel est considéré comme l'unité dans l'appréciation des légers ouvrages, ci.	3	00
119	Un mètre quarré sur vieux mur..	1	00
120	Un mètre quarré d'enduit sur mur neuf..	0	75
121	Un mètre courant de chaperon à une pente y compris son bandeau.	0	75
122	Un mètre courant de chaperon à deux pentes avec les bandeaux.	1	50
123	Nota. — Lorsqu'il faudra échafauder, on paiera pour les frais d'échafaudage, par mètre cube.	0	80
	Ce prix s'applique aux maçonneries en mortier de chaux, soit moellons soit pierres de taille.		
124	Moellons et petites pierres pour les légers ouvrages; on paiera 1/4 en sus des prix portés ci-dessus.	1/4	

N°	Désignation	Prix
125	**Un mètre cube de pierre de taille transporté à 100 mètres.**	
	Chargement et déchargement 1 h. 60 d'un bardeur et de 3 manœuvres à 11 f 05.	1 f. 76
	Temps employé par la voiture tant au chargement et au déchargement qu'au transport, 1 h. 687 d'un tombereau payé 1 f. 694 l'heure.	2 86
		4 62
126	Augmentation pour chaque cent mètres de distance de plus.	
	0 h. 687 d'un tombereau payé 1 f. 694 l'heure.	0 15
	NOTA. — Pour les moellons, la meulière, la brique, le prix du transport sera le même, mais celui du chargement sera réduit de 1 f. 76 à 0,50.	

SECTION IV. — CARRELAGE. — 1° *Prix élémentaires.*

N°	Désignation	Prix bruts.	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec faux frais et bénéfice.
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
127	La journée d'un carreleur.	3,75	0,38	0,42	4,55
128	*id.* d'un aide.	2,20	0,22	0,24	2,66
129	Carreaux hexagones de 0.m176 de côté, le mille. . .	45,00	0,00	4,50	49,50
130	*id.* *id.* de 0 162 *id.* *id.* . . .	34,00	0,00	3,40	37,40

2° *Prix composés.*

131	Un mètre quarré de carrelage en grands carreaux, de 0 f. 176.	
	Fourniture. . . { 37 carreaux, à 49 f. 176..	1 f. 832
	{ Plâtre, 0,020, à 19 f. 80.	0 396
	Main-d'œuvre, 0 h. 80 d'un carreleur et de son aide, à 0 f. 726...	0 581
		2 809
132	Un mètre quarré de carrelage en carreaux, de 0 f. 162.	
	Fourniture. . . { 48 carreaux à 37 f. 40.	1 608
	{ Plâtre, 0.^{m}058, à 19 f. 40	0 396
	Main-d'œuvre, comme ci-dessus.	0 581
		2 585
133	Chaque carreau, de 0.^{m}176, en recherche.	0 10
134	Chaque carreau, de 0 162, en recherche.	0 08
135	Le millier de carreaux démolis, décrotés et emmagasinés.	4 50
136	Le mètre quarré de carrelage en vieux carreaux.	1 00

SECTION V. — MARBRERIE.

N°	Désignation	Prix bruts.	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice	Prix avec faux frais et bénéfice.
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
137	La journée d'un marbrier	3,80	0,38	0,42	4,60
138	*id.* d'un carreleur	4,15	0,41	0,48	5,00
139	*id.* d'un aide	2,20	0,22	0,24	2,66
140	Le mètre quarré de marbre Sainte-Anne ou granit, pour tablette, de 0.m027 d'épaisseur, compris la pose				27 f. 00
141	Le mètre quarré de marbre de 0.m034 d'épaisseur, compris la pose				33 00
142	*id.* *id.* pour foyers de 0.m027 d'épaisseur, doublé en liais de 0.m034 d'épaisseur				33 00
143	Chaque chambranle de cheminée en marbre Sainte-Anne ou granit, de 0.m027 d'épaisseur, doublé en liais, sans foyer, et de toutes dimensions, compris pose, agraffes, etc.				23 00
144	Chaque chambranle de cheminée avec foyer				40 00

145	Chambranle de cheminée en liais, sans foyer.	15f.	00
146	*id.* *id.* en liais, avec foyer.	20	00
147	Pose seule du chambranle sans foyer.	3	00
148	*id.* *id.* avec foyer.	4	50
149	Chaque nétoyage de chambranle vieux ordinaire avec foyer.	2	00
150	*id.* *id.* et foyer ponce.	3	50
151	Le mètre quarré de carrelage en carreaux octogones, en liais, de 0.m32 de diamètre, inscrit avec remplissage en carreaux de marbre noir, compris ragrément et polissage au grès.	10	50
152	Chaque carreau de marbre noir en recherche	1	25
153	Le mètre quarré de carrelage en carreaux de liais.	8	50
154	Chaque carreau de liais quarré ou octogone de 0.m32, en recherche.. . . .	0	90

SECTION VI. — CHARPENTE. — 1° *Prix élémentaires.*

N^os d'ordre	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts.	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec faux frais et bénéfice.
	NOTA. — Toutes les journées sont de 10 heures.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
155	Une journée de charpentier.	4 00	0,40	0,44	4,84
156	Une *id.* de bardeur ou coltineur..	3,00	0,30	0,33	3,63
157	Une *id.* de manœuvre..	2,50	0,25	0,275	3,05
158	Une *id.* d'un renard pour les sonnettes. . .	2,75	0,285	0,30	3,33
159	Un mètre cube de bois de chêne brut, purgé d'aubier, de 0.^{m}15 à 0.^{m}35 de diamètre moyen.. .	80,00	»	8,00	88,00
160	Un mètre de bois de chêne équarri, des mêmes dimensions.	95,00	»	9,50	104,50
161	Un mètre de bois de chêne au-dessous de 0.^{m}35...	125,00	»	12,50	137,50
162	Un *id.* de bois de sciage en chêne..	102,50	»	10,25	112,75
163	Un *id.* de bois de chêne ou d'orme neuf, ou ayant déjà servi, mais en bon état pour pont de service, etc., prix moyen.	60,00	»	6,00	66,00
164	Un mètre quarré de plats bords en sapin, de 0.^{m}06 d'épaisseur..	5,00	»	0,50	5,50
165	Un mèt. courant de planches de déchirage de bateau.	0,27	»	0,03	0,30

2° *Prix composés.*

N°	Désignation	Prix
166	Un mètre cube de bois de chêne pour pieux.	
	Détail pour un pieu ayant 5.m00 de longueur, et 0.m30 de diamètre réduit, cubant 0.m353 mill.	
	Fourniture. . { 0.m353 de bois neuf, à 88 f.	31 f. 284
	{ 1/10 de déchet.	3 . 128
	Bardage. { Temps du chargement dans un diable. 0 h.335 ; *id.* employé à parcourir 100.m, aller et revenir. . . . . 0 065 } 0 h. 40 d'un diable servi par un coltineur à 3 f. 33 c., et 9 manœuvres à 2 f. 66, ensemble 27 f. 27.	1 095
	Façon. . { Dressage du pieu et pose du sabot et de sa frette, 2 h. 50 de charpentier, à 0 f. 484 l'heure.	1 210
		36 717
	Le pieu cubant 0.m353 mill., un mètre cube de bois pour pieu reviendra à. . .	104 010
167	Un mètre cube de bois équarri employé avec assemblage pour chapeau, racinaux, poteaux, etc., jusqu'à 0.m33 d'équarrissage.	
	Fourniture. . . { Un mètre cube de bois, à 104 f. 50.	104 50
	{ 1/10 de déchet.	10 45
	Main-d'œuvre.. { Bardage à 100 m, comme à l'article précédent.	1 09
	{ Façon, approche, levage et pose, 40 h. de charpentier, à 0 f. 484.	19 30
	Nota. — La main-d'œuvre et la proportion du déchet seront les mêmes pour les bois au-dessus de 0.m33 d'équarrissage.	135 40

168	Un mètre cube de bois de sciage pour madriers dressés, mis en place et assujétis.	
	Fourniture. . . 1.m125 de bois de sciage, à 112 f. 75..	126 f. 84
	Main-d'œuvre { Bardage à 100 mètres.	1 09
	Main-d'œuvre { Façon, approche et pose, 20 h. de charpentier à 0 f. 484 l'heure.	9 68
		137 61
169	Un mètre cube de bois de chêne au-dessus de 0.m33 d'équarrissage, tant gros bois que madriers, les joints bien dressés et à vive arrête avec clef d'assemblage pour bâche.	
	Fourniture. . . 1.m14 de bois compris déchet, à 125, prix moyen	142 50
	Main-d'œuvre { Façon, approche et pose, 70 h. de charpentier, à 0 f. 484. .	33 88
	Main-d'œuvre { Bardage à 100 mètres.	1 09
		177 47
170	Un mètre cube de bois de chêne ou d'orme employé sans assemblage pour poutre de pont de service, poteau de barrière, étrésillons, etc.	
	1er *Emploi*.	
	Fourniture. . { 0.m20 de déchet pour coupe, dépérissement et perte à raison de 66 f. le mètre cube..	13 20
	Main-d'œuvre { Bardage à 100.m pour l'approche, dépérissement après le démontage, ensemble deux bardages à 1 f. 095. . 2 f. 190	
	Main-d'œuvre { Façon et pose, 7 h. de charpentier, à 0 f. 484 l'heure.. 3 388	6 376
	Main-d'œuvre { Démolition, 3 h. de manœuvre, à 0 f. 266. . . . 0 798	
		19 576

	2e Emploi.		
171	Fourniture, 0.m10 de déchet pour coupe, dépérissement et perte, à raison de 66 f. le mètre cube.	6 f.	60
	Main-d'œuvre, pose, démolition et double bardage, comme au détail précédent.	6	37
		12	97
172	Un mètre quarré de plats bords, employés pour soutenir les terres dans les fouilles des égouts, galeries, etc.		
	1er Emploi.		
	Fourniture, 0 m20 de déchet pour coupe, dépérissement et perte, à raison de 5 f. 50 le mètre quarré..	1	10
	Main-d'œuvre, façon comme au détail (No 170), 0.m06 cubes de bois, à 6 f. 37.	0	40
		1	50
	2e Emploi.		
173	Fourniture, 0.m10 de déchet, à raison de 5 f. 50 le mètre quarré.	0	55
	Main-d'œuvre, comme au détail précédent.	0	40
		0	95
174	Un mètre cube de bois avec assemblage, pour garde-corps, cintres, etc., pour l'un de ces emplois successifs.		
	Fourniture, 0.m20 de déchet pour coupe, dépérissement et perte, à raison de 66 f. le mètre cube.	13	20
	Main-d'œuvre { 2 bardages, comme à l'article précédent..	2	19
	Main-d'œuvre { Façon et pose, une journée de charpentier, à 4 f. 84.	4	84
	Main-d'œuvre { Démolition, 4 h. de manœuvre payé à 0 f. 266 l'heure.	1	06
		21	29

175	Pont de service, de 5.m50 sur 3.m sur les tranchées des égouts, et un plancher de 5.m50 sur 3.m, faisant 16m.q.50 et 0,15 d'épaisseur, cubant. 2.m48	
	2 lisses de 5.m50, 6 montants de 1.m00, 12 contrefiches de 0,667, formant une longueur, ensemble, de 25.m sur 0,16 et 0,16, ou 0m.q.0,0256. . . . . 0 64	
	Cube total. 3.m12	
	Les 3 m12 de bois avec assemblage, à 21 f. 33 le mètre cube.	66 f. 55
	5 pouterelles de 6.m sur 0.m25 et 0.m20 cubant 1.m50, à 14 f. 62.	21 93
		88 48
176	Un mètre courant de cintre pour les galeries de 1.m de longueur.	
	Une demi-ferme, 3.m00 de bois sur 0,12 d'équarrissage, cubant 0,043 à 21 f. 33.	0 917
	Couches, 1.m20 sur 1.m et sur 0,08 d'épaisseur, cubant 0,096 à 13 f. 70. . .	1 315
	Faux frais, plâtre pour aire, etc..	0 768
		3 000
177	Un mètre courant de cintre pour les galeries de 0.m70 et au-dessous, 2/3 du prix ci-dessus..	2 000
178	Un mètre courant de barrière de sûreté pour les deux rives ensemble d'une tranchée.	
	NOTA. — Ce prix sera réduit à moitié lorsqu'il ne faudra de barrière que sur une seule rive.	

	Fourniture. . . 1 poteau d'un mètre 83 sur 0.m16, et 0,16 d'équarrissage cubant 0.m046, à 13 f. 70, prix déduit des Nos 157 et 161.		0 f. 630
	4.m courants de planche de bateau, à 0 f. 50.		1 200
	Pose. . . . . . Scellement d'un poteau et autres menus frais.		0 670
			2 500
179	Un mètre courant de gouttière de 0.m80 de largeur sur 0.m50 de hauteur pour chacun de ses emplois successifs.		
	1.m80 quarrés de madriers de 0.m06 d'épaisseur, cubant.. . . .	0.m108	
	3 50 courant de bois de 0,10 d'équarrissage, *id.*	0 035	
	Cube total. . .	0.m143	
	Les 0.m143 mill., à 21 f. 33, valent..		3 05
	3.m courants de joints pour calfatage, goudronnage, à 0 f. 50.		1 50
	Plus value sur la façon.		1 45
			6 00
180	Un mètre courant de gouttière de 0.m50 de largeur sur 0.m40 de hauteur, moitié du prix précédent.		3 00

181	Plus value sur le prix des ouvrages exécutés dans les égouts et galeries.	
	Il sera payé en sus du prix ci-dessus :	
	1° Par mètre cube de bois pour étrésillons.. { Eclairage..	3 f. 00
	Main-d'œuvre.	13 15
		16 15
182	2° Par mètre quarré de plats bords 0.m06 cubes de bois, à 16 f. 15, prix ci-contre.	1 00
183	3° Par mètre courant de gouttière, quelles que soient les dimensions, pour éclairage, et plus value de pose et d'entretien.	3 00
184	Un mètre cube de bois provenant de constructions où les pièces sont assemblées à tenons et mortaises, chevillées, clouées et boulonnées, pour démolitions et rangement des matériaux, y compris dépose du fer.	
	Main-d'œuvre, 6 h. d'un charpentier et d'un manœuvre, à 0 f. 75, ci.. . . .	4 50

SECTION VII. — COUVERTURE. — 1° *Prix élémentaires.*

	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.		Prix bruts	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec faux frais et bénéf.
			fr. c	fr. c.	fr. c.	fr. c.
185	Journées de 10 heures.	d'un compagnon.	4,50	0,225	0,45	5,20
186		d'un aide.	2,50	0,125	0,25	2,80
187	Le millier d'ardoises neuves.	Grandes, vendues à pied d'œuvre.	45,00	»	4,50	49,50
188		Petites.	35,00	»	3,50	38,50
189		Cartelettes.	28,50	»	2,85	31,35
190	Le millier de tuiles neuves.	de Bourgogne, g^d moule.	90,00	»	9,00	99,00
191		de Montereau.	86,00	»	8,60	94,60
192		de Bourg., petit moule.	58,00	»	5,80	63,80
193	Le millier de tuiles vieilles.		68,00	»	6,80	74,80
194	Une tuile feutière neuve.	Grande.	0,40	»	0,04	0,44
195		Petite.	0,22	»	0,03	0,25

196	Le cent de voliges en bois blanc de 0.m13 de largeur et 1.m95 de longueur. .	25 f. 00
197	*id.* de lattes, cœur de chêne (de 52 par botte).	3 00
198	Le kilog. de clous à voliges (de 350 au kilog.).	1 20
199	Le kilog. de clous à lattes (de 700 *id.*)	1 25
200	Le kilog. de clous à ardoises (de 1000 *id.*)	1 70

2° *Prix composés.*

§ 1er. — Ouvrages au mètre quarré.

Ardoises.

	ARDOISES SUR PLATRE. Détail pour un mètre quarré.	GRANDES. Neuves.	GRANDES. Remaniées.	CARTELETTES. Neuves.	CARTELETTES. Remaniées.
		fr. c.	fr. c.	fr. c	fr. c.
201	Fourniture. . . Ardoises. . . 43 grandes. . . .	2,128			
	Fourniture. . . Ardoises. . . 76 cartelettes. . . .			2,38	
	Fourniture. . . Clous à ardoises.	0,077	0,077	0,13	0,13
	Fourniture. . . Parement en plâtre.	0,510	0,510	0,51	0,51
	Main-d'œuvre.	0,740	0,740	1,18	1,18
	Totaux pour un mètre quarré. . .	3,455	1,327	4,20	1,82

202	Un mètre quarré de couverture en ardoises neuves, fines, grandes, sur lattis neuf de voliges en bois blanc.		
	43 ardoises, à 49 f. 50 le cent.	2 f. 128	
	5 mètres linéaires de voliges, à 0 f. 13 le mètre.	0 650	
	0.^{k}10 de clous à voliges, à 1 f. 20 le kil. . .	0 120	
	0.^{k}09 *id.* à ardoises, à 1 f. 70 le kil. . .	0 153	
	Main-d'œuvre, 0 journée 11 de couvreur et aide, à 8 f. la journée.	0 880	
	Total.	3 931	3 f. 93
203	Un mètre quarré d'ardoises grandes, neuves, sur enduit neuf en plâtre. . .		3 45
204	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur vieux lattis recloué.		3 30
205	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur vieux lattis non recloué ou sur vieux plâtre.		3 00
206	Un mètre d'ardoises remaniées, grandes, sur enduit neuf en plâtre.		1 30
207	*Id.* *id.* *id.* sur lattis neuf.		1 80
208	*Id.* *id.* *id.* sur vieux lattis recloué..		1 00
209	*Id.* *id.* *id.* *id.* non recloué ou vieux plâtre. . . .		0 85
210	Un mètre quarré de couverture en ardoises neuves, cartelettes sur lattis neuf de voliges.		
	Fourniture. . . { 76 ardoises cartelettes, à 31 f. 25 le cent. . . .	2 f. 38	
	6 mètres linéaires de voliges, à 0 f. 13 le mètre.	0 78	
	0.^{k}11 de clous à voliges, à 1 f. 20 le kil. . . .	0 13	
	0.^{k}15 *id.* à ardoises, à 1 f. 70 *id.* . . .	0 26	
	Main-d'œuvre, 0j 171 de compagnon et aide, à 8 f. la journée. .	1 37	
	Total.	4 92	4 90

211	Un mètre quarré d'ardoises cartelettes neuves sur enduit neuf en plâtre. . . .	4 f. 20
212	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur vieux lattis recloué. . . .	4 00
213	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur *id.* non recloué ou sur plâtre vieux.	3 80
214	*Id.* *id.* *id.* remaniées sur enduit neuf en plâtre. . .	1 80
215	*Id.* *id.* *id.* sur lattis neuf.	2 53
216	*Id.* *id.* *id.* sur vieux lattis recloué.	1 55
217	*Id.* *id.* *id.* sur vieux lattis non recloué ou sur vieux plâtre.	1 45

Tuiles.

218	Un mètre quarré de couverture en tuiles neuves de Bourgogne, grand moule, sur lattis neuf de chêne.		
	Fourniture. . . { 38 tuiles, à 99 f. le cent.	3 f. 76	
	7 lattes, à 3 f. *id.*	0 21	
	0.k04 de clous à lattes, à 1 f. 25 le kil.	0 05	
	Main-d'œuvre, 0 j.065 de compagnon et aide, à 8 f. la journée.	0 52	
	Total.	4 54	4 50
219	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves sur vieux lattis recloué. . . .		4 30
220	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur vieux lattis non recloué. .		4 15
221	*Id.* *id.* *id.* *id.* scellées sur plâtre.		4 80
222	*Id.* *id.* *id.* *id.* remaniées, scellées.		1 10
223	*Id.* *id.* *id.* *id.* remaniées sur lattis neuf. . . .		0 80

224	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves sur vieux lattis recloué. . .	0 f. 50
225	*Id.* *id.* *id.* *id.* sur vieux lattis non recloué. .	0 40
226	Un mètre quarré de couverture en tuiles neuves de Bourgogne, petit moule, sur lattis neuf de chêne. Fourniture. . . { 64 tuiles, à 63 f. 80 le cent. . . . . 4 f. 08 9 lattes, à 3 f. 00 le cent. . . . . 0 27 0 k054 de clous à lattes, à 1 f. 25 le kil. . . . . 0 07 Main-d'œuvre, 0 j. 086 de compagnon et aide, à 8 f. la journée. 0 69 Total 5 11	5 00
227	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves, petit moule, sur vieux lattis recloué.	4 85
228	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves, petit moule, sur vieux lattis non recloué.	4 65
229	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves, petit moule, remaniées sur lattis neuf.	1 00
230	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne neuves, petit moule, sur vieux lattis recloué.	0 75
231	Un mètre quarré de tuiles de Bourgogne, neuves, petit moule, sur vieux lattis non recloué.	0 55
	OUVRAGES DIVERS.	
232	Un mètre quarré de découverture, sans descente.	0 10
233	*Id.* *id.* *id.* avec descente et rangement.	0 15

234	Un mètre quarré de pentes en plâtre simple.		1 f. 00
235	*Id.* *id.* *id.* sur cintre en voliges.		2 15
		le kil.	
236	*Id.* *id.* de plomb retroussé seulement et rabattu.	0 f. 04	1 00
237	*Id.* *id.* *id.* monté et posé.	0 05	1 30
238	*Id.* *id.* *id.* déposé, jeté bas.	0 025	0 60
239	*Id.* *id.* *id.* fourni monté et posé.	0 80	20 90
	OUVRAGES AU MÈTRE LINÉAIRE.		
		en ardoises.	en tuiles.
240	Un mètre linéaire de *tranchis de dévirure*, pour façon.	0 14	0 00
241	*Id.* *id.* *id.* *id.* et déchet.	0 26	0 00
242	*Id.* *id.* *id.* *id.* avec parement et dévirure	0 36	0 00
243	*Id.* *id.* *id.* *de Noue* pour façon seule.	0 14	0 14
244	*Id.* *id.* *id.* *id.* avec déchet.	0 37	0 49
245	*Id.* *id.* *id.* *id.* avec parement.	0 40	0 54
246	*Id.* *id.* *id.* *id.* avec voliges ou lattes neuves.	0 51	0 59
247	*Id.* *id.* de tranchis d'arêtier pour façon seule.	0 27	0 27
248	*Id.* *id.* *id.* *id.* avec déchet.	0 60	0 83
249	Un mètre linéaire de *tranchis d'arêtier* avec deux parements.	0 70	0 94
250	*Id.* *id.* *id.* avec voliges ou lattes neuves.	0 93	1 04
251	*Id.* *id.* de *solins* ou filets simples pour plâtre.	0 45	0 45
252	*Id.* *id.* *id.* avec parements.	0 50	0 52
253	*Id.* *id.* *id.* avec voliges ou lattes neuves.	0 62	0 56
254	*Id.* *id.* de *ruellées* simples pour plâtre (compris dévirure).	0 56	0 58

255	Un mètre linéaire de *ruellées* sur parements neufs.	0f. 61	0f. 61
256	*Id.* *id.* *id.* sur voliges neuves.	0 72	0 76
257	*Id.* *id.* d'*arêtiers* simples pour plâtre.	0 55	0 55
258	*Id.* *id.* *id.* sur parements neufs.	0 65	0 65
259	*Id.* *id.* *id.* sur voliges neuves.	0 88	0 76
260	*Id.* *id.* de *faîtages* simples pour plâtre.	0 55	0 55
261	*Id.* *id.* *id.* faîtières remaniées.	0 90	0 90
262	*Id.* *id.* *id.* neufs en entier.	2 24	2 24
263	*Id.* *id.* d'*égoûts* de 1 tuile neuve, 1 tuile vieille et une ardoise.		1 50
264	*Id.* *id.* *id.* de 2 tuiles neuves.		1 50
265	*Id.* *id.* *id.* de 3 tuiles neuves.		2 00
266	*Id.* *id.* *id.* de 4 tuiles neuves.		2 80
267	*Id.* *id.* de *batellements* ou *doublis* en ardoises neuves.		0 48
268	*Id.* *id.* *id.* *id.* en ardoises remaniées.		0 22
269	*Id.* *id.* *id.* *id.* en tuiles neuves.		0 61
270	*Id.* *id.* *id.* *id.* en tuiles remaniées.		0 22
271	*Id.* *id.* de plâtres neufs.		0 45
272	*Id.* *id.* de gouttières en bois non peintes.		2 70
273	*Id.* *id.* *id.* peintes de trois couches à l'huile.		3 30

OUVRAGES A LA PIÈCE.

274	Une ardoise en recherche, compris clous, et fournie neuve.	0 10
275	*Id.* *id.* *id.* non fournie.	0 03
276	Une tuile en recherche neuve fournie.	0 12

277	Une tuile en recherche neuve non fournie.	0 f. 06
278	Le mètre linéaire de chevrons en bois de sapin recloué.	0 60
279	Une faîtière ordinaire scellée.	0 70
280	*id.* à bourrelet.	0 80
281	Une volige de 2 mètres.	0 26
282	Une vue de faîtière neuve et scellée.	2 00
283	*id.* *id.* les plâtres seuls.	1 25
284	La pose d'un crochet de service.	0 50

SECTION VIII. — MENUISERIE. — 1° *Prix élémentaires.*

	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts	1/10 de faux frais.	1/10 de bénéfice.	Prix avec faux frais et bénéfice.
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
285	Journée de 10 h. d'un compagnon menuisier. . .	3,50	0,35	0,39	4,24
286	*id.* *id.* de deux scieurs de long. . . .	7,50	0,75	0,83	9,08
				Prix bruts	Prix avec bénéfice.
287	Le mètre courant de planche de chêne de 0.m012 à 0,018 d'épaisseur, et de 0.m22 de largeur réduite.			0,92	1,00
288	Le mètre de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur, et de 0.m25 de largeur réduite, dite entre-vous.			1,05	1,15

289	Le mètre de 0.^{m}32 à 0,041 d'épaisseur, et de 0.^{m}25 de largeur réduite, dite membrure.	1 f. 36	1 f. 50
290	Le mètre de 0.^{m}036 d'épaisseur, et de 0.^{m}32 de largeur en doublette.	2 68	2 95
291	Le mètre courant de 0.^{m}11, et de 0.^{m}30 à 33 de largeur pour battants de porte-cochère..	5 36	5 90
292	Le mètre courant de planches de sapin de 0.^{m}012 à 0,018 d'épaisseur, sur 0.^{m}30 et 0,32 de largeur réduite..	0 68	0 75
293	Le mètre courant de 0.^{m}020 à 030 d'épaisseur, sur 0.^{m}32 de largeur réduite.	1 00	1 10
294	Le mètre courant en madriers de 0.^{m}06 à 0,07 d'épaisseur, et de 0.^{m}33 de largeur..	2 00	2 20
295	Le mètre quarré de planches de chêne en bois de bateau (1re qualité).	2 14	2 35
296	*id.* *id.* en bois de sapin.	1 50	1 65
297	Le mètre courant de plats bords en bois de sapin de 0.^{m}08 d'épaisseur réduite, et de 0,40 de largeur..	2 20	2 31
298	Le mètre courant de chevrons en chêne de 0.^{m}08 d'équarrissage.	0 68	0 75
299	*id.* de chevrons en sapin.	0 59	0 65
300	Le kilogramme de clous doux à parquets.	1 20	1 30
301	*id.* de clous d'épingles.	1 40	1 54
302	*id.* de colle forte..	2 20	2 40
	Sciage des bois.		
303	Le mètre quarré de sciage en chêne, les deux parements compris.		1 05
304	*id.* en sapin..		0 80

N°	Désignation	Détail		Prix	
	2° Prix composés.				
	MENUISERIE AU MÈTRE QUARRÉ.				
	Lambris.				
305	Le mètre quarré de lambris d'assemblage, les panneaux à glaces ou tables saillantes sans moulures et à bouvements simples en chêne à un parement, bâtis de 0.m020 à 0,030, panneaux de 0.m012 à 0,018 d'épaisseur.				
	1.m68 courants de planches, à 1 f. 15..	1 f.	93		
	3 52 *id.* à 1 f.	3	52		
	0 03 de sciage de bâtis à 1 f. 05.	0	05		
	0 04 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0	10		
	11 h. de compagnon pour façon et pose, à 0,424.	4	66		
		10	26	10	26
306	Le mètre quarré *id.* Bâtis de 0.m032 à 0,041, panneaux de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur.				
	1.m68 courants de planches, à 1 f. 50.	2	52		
	3 52 d'entre-vous, à 1 f. 15..	4	05		
	0 06 de sciage pour les bâtis, à 1 f. 05	0	06		
	0 04 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40	0	10		
	11 h. de compagnon, à 0,424.	4	88		
		11	61	11	60

307	Le mètre quarré à 0 f.424.		
	Bâtis et panneaux, de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	5.m20 courants de planches, à 1 f. 50.	7 f. 80	
	0 06 de sciage pour les bâtis, à 1 f. 05.	0 06	
	0 05 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 12	
	12 h. de compagnon, à 0 f. 424.	5 09	
		13 07	13 f. 10
308	Pour les mêmes lambris blanchis ou arasés aux deux parements, on ajoutera aux trois prix précédents.		1 63
309	Le mètre quarré de lambris en sapin à un parement.		
	Bâtis de 0.m020 à 0,030, panneaux de 0,012 à 0,018 d'épaisseur.		
	1.m97 courants de planches, à 0 f. 60.	1 18	
	2 80 courants de planches, à 0 f. 75.	2 10	
	0 05 de sciage pour les bâtis, à 0 f. 80.	0 05	
	0 04 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 10	
	8 h. 25 de compagnon, à 0 f. 424.	3 50	
	Le mètre quarré, à 0 f. 424.	6 93	6 93
310	Bâtis de 0.m032 à 0,041, panneaux de 0.m02 à 0,05 d'épaisseur.		
	1.m33 courants de planches, à 1 f. 10.	1 46	
	4 *id.* *id.* à 0 f. 60.	2 40	
	0 06 quarrés de sciage, à 0 f. 80.	0 05	
	0k 04 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 10	
	8 h. 62 de compagnon, à 0 f. 424.	3 65	
		7 66	7 65

311	Le mètre quarré, à 0 f. 424.		
	Bâtis et panneaux de $0.^{m}032$ à 0,041 d'épaisseur.		
	$4.^{m}10$ courants de plancher, à 1 f. 10.	4 f. 51	
	0 06 quarrés de sciage pour les bâtis, à 0 f. 80.	0 05	
	0 05 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 12	
	9 h. de compagnon menuisier, à 0 f. 424.	3 82	
		8 50	8 50
312	Pour les mêmes lambris blanchis ou arasés à deux parements, on ajoutera aux trois prix précédents.		1 25
	(Les mêmes lambris en chêne et en sapin se paieront suivant la moyenne entre les prix correspondants de chêne et de sapin.)		
	Portes charretières.		
313	Le mètre quarré de porte charretière en chêne.		
	Bâtis de $0.^{m}054$, panneaux de $0.^{m}02$ à 0,03 d'épaisseur.		
	$1.^{m}58$ courants de doublettes, à 2 f. 95.	4 66	
	3 03 courants de planches, à 1 f. 15.	3 48	
	0 16 quarrés de sciage de bâtis, à 1 f. 05.	0 17	
	0 06 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 14	
	16 h. 67 de compagnon, à 0 f. 424.	7 07	
		15 52	15 50

314	Le mètre quarré, à 0 f. 424.		
	Panneaux de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	1.m58 courants de planches pour bâtis, à 2 f. 95.	4 f. 66	
	3 03 *id.* *id.* pour panneaux, à 1 f. 50.	4 55	
	0 16 quarrés de sciage des bâtis, à 1 f. 05.	0 17	
	0 09 de colle pour les panneaux, à 2 f. 40.	0 22	
	17 h. 67 de compagnon, à 0 f. 424..	7 49	
		17 09	17 f. 10
315	Les mêmes avec écharpe par derrière, de 0.m034 d'épaisseur, seront payés en sus.		2 10
	Portes cochères.		
316	Le mètre quarré de porte-cochère avec guichet en chêne, avec ou sans parement d'appui en parquet.		
	Gros bâtis de rive 0.m08, bâtis de 0,034 à 0,06, panneaux de 0,032 à 0,041 d'épaisseur.		
	2.m30 courants de membrures, à 1 f. 50.	3 45	
	1 75 courants de bâtis et cadre de guichet en doublettes, à 2 f. 95. .	5 16	
	1 83 courants pour panneaux, à 1 f. 50..	2 75	
	0 37 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 39	
	0 09 de colle, à 2 f. 40.	0 22	
	30 h. de compagnon, à 0 f. 424..	12 72	
		24 69	24 70

3[illegible]	Le mètre quarré de porte cochère, *idem*.		
	Gros bâtis de rive de 0.m11, bâtis et cadre de 0,08, panneaux de 0,054 d'épaisseur.		
	4.m59 courants de membrures pour bâtis et cadre de guichet, à 1 f. 50.	6 f. 89	
	1 44 *id.* de battants de porte cochère, à 5 f. 90.	8 50	
	0 94 *id.* de doublette pour panneaux, à 2 f. 95.	2 77	
	0 63 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 66	
	0 10 de colle, à 2 f. 40.	0 24	
	38 h. 40 de compagnon, à 0 f. 424.	16 28	
	Portes et contrevents en chêne.	35 34	35 f. 35
318	Le mètre quarré de portes pleines, contrevents, dessus de table et emboîtés haut et bas ou avec barre à queue et clefs, les planches jointes à rainures et languettes en chêne de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur.		
	5.m33 de planches, à 1 f. 15.	6 13	
	0 03 courants de sciage des emboîtures, à 1 f. 05.	0 03	
	0 05 de colle pour clefs et emboîtures, à 2 f. 40.	0 12	
	5 h. 75 de compagnon, à 0 f. 424.	2 44	
		8 72	8 75
319	Le mètre quarré *idem*, de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	5.m33 courants de planches, à 1 f. 50.	8 00	
	0 03 quarrés de sciage des emboîtures, à 1 f. 05.	0 03	
	0 06 de colle pour emboîtures, à 2 f. 40.	0 14	
	7 h. 40 de compagnon, à 0 f. 424.	3 14	
		11 31	11 30

N°	Désignation	Détail	Prix
320	Le mètre quarré de portes, etc., de 0.^{m}05 à 0,06 d'épaisseur.		
	3.^{m}63 courants de doublures, à 2 f. 95.	10f. 77	
	0 86 quarrés de sciage des emboîtures à 1 f. 05.	0 06	
	0 08 de colle pour les emboîtures, à 2 f. 40.	0 19	
	11 h. 25 de compagnon, à 0 f. 424.	4 77	
		15 79	15f. 80
	Portes et contrevents en sapin.		
321	Le mètre quarré de portes, etc., en sapin avec emboîtures en chêne, ou planches de 0.^{m}02 à 0,03 d'épaisseur.		
	0.^{m}70 courants de planches en chêne pour emboîtures, à 1 f. 15.	0 80	
	4 66 *id.* *id.* en sapin, à 0 f. 60.	2 80	
	0 03 quarrés de sciage pour les emboîtures, à 1 f. 05.	0 03	
	0^{k} 01 de colle pour clefs et emboîtements, à 2 f. 40.	0 12	
	5 h. 25 de compagnon, à 0 f. 424.	2 23	
		5 98	6 00
322	Le mètre quarré de portes, etc., en sapin, de 0.^{m}032 à 0,041 d'épaisseur.		
	0.^{m}70 courants de planches pour emboîtures, à 1 f. 50.	1 05	
	3 00 *id.* *id.* en sapin, à 1 f. 10.	3 30	
	0 04 quarrés de sciage pour les emboîtures, à 1 f. 05.	0 04	
	0k. 06 de colle, à 2 f. 40.	0 14	
	6 h. 50 de compagnon, à 0 f. 424.	2 76	
		7 29	7 30

Croisées.

323	Le mètre quarré de croisées et châssis vitrés et à tabatières, à grands carreaux avec jets d'eau, dormants et châssis en chêne.		
	Dormants de 0.m32 à 0,041 et châssis de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur.		
	0.m86 courants de planches pour dormants.	1 f. 29	
	1 25 *id.* de châssis et petits bois, à 1 f. 15	1 44	
	0 27 *id.* de doublette pour gueule de loup, à 2 f. 95.	0 80	
	0 21 *id.* de jets d'eau pris dans les membrures, à 1 f. 10.	0 32	
	0 33 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 35	
	0k.02 de colle forte, à 2 f. 40.	0 05	
	9h.30 de compagnon, à 0,424.	3 94	
		8 19	8 f. 20
324	Le mètre quarré *id.*		
	Dormants de 0.m034, châssis de 0.m032 à 0,041.		
	0.m68 courants de planches pour dormants, à 2 f. 95.	2 01	
	1 25 *id.* en petits bois, à 1 f. 50.	1 88	
	0 53 *id.* de membrures pour gueule de loup, à 1 f. 50.	0 80	
	0 14 *id.* de battants de porte cochère pour jets d'eau, à 5 f. 90.	0 83	
	0 44 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 46	
	0k.07 de colle, à 2 f. 40.	0 17	
	10h.70 de compagnon, à 0,424.	4 54	
		10 69	10 70

325	Le mètre quarré *id.*		
	Dormants de 0.m08, châssis de 0.m05 à 0,06 d'épaisseur.		
	2.m64 courants de doublettes pour dormants, châssis et gueule de loup, à 2 f. 95.	7 f. 79	
	0 14 *id.* de battants de porte cochère pour jets d'eau, à 5 f. 90.	0 83	
	0 58 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 61	
	0 k. 09 de colle, à 2 f. 40.	0 22	
	10 h. 30 de compagnon, à 0,424	6 06	
		15 51	15 f. 50
	Persiennes et Jalousies.		
326	Le mètre quarré de persiennes à un ou deux vantaux, lames dormantes ou mouvantes, avec ou sans moulures en chêne, de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	4.m34 courants de membrures pour bâtis de lames, à 1 f. 50.	6 51	
	6 68 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	1 76	
	0 k. 10 de colle forte, à 2 f. 40.	0 24	
	12 h. 80 de compagnon, à 0,424.	5 09	
		13 60	13 60
327	Le mètre quarré *id.* avec dormants.		
	4.m67 de membrures, à 1 f. 05.	7 00	
	1 39 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	1 46	
	0 k. 08 de colle forte, à 2 f. 40.	0 19	
	12 h. 80 de compagnon, à 0,424.	5 43	
		14 08	14 10

328	Le mètre quarré de jalousies en chêne, garnies de rubans de fil, cordon, poulies.		
	2.m30 courants de planches pour lames, à 1 f.	2f. 30	
	0 60 *id.* de têtes, à 1 f. 50.	0 90	
	1 25 quarrés de sciage pour lames, à 1 f. 05.	1 29	
	Rubans, cordons et poulies.	1 46	
	7 h. 70 de compagnon, à 0,424.	3 26	
		9 21	9f. 20
	Plancher.		
329	Le mètre quarré de plancher à rainures et languettes corroyé d'un seul côté, clous compris, en chêne, de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur.		
	3m courants de planches, à 1 f. 15.	5 75	
	0.k 12 de clous doux, à 1 f. 30.	0 16	
	4 h. de compagnon, à 0,424.	1 70	
		7 61	7 60
330	Le mètre quarré *id.* de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	5m courants de planches, à 1 f. 50.	7 50	
	0.k 15 de clous, à 1 f. 30.	0 20	
	5 h. de compagnon, à 0,424	2 12	
		9 82	9 . 80

331	Le mètre quarré *id.* de 0.^{m}034 d'épaisseur.		
	3.^{m}75 courants de doublures, à 2 f. 95.	11 f. 06	
	0.^{k}20 de clous, à 1 f. 30.	0 26	
	6 h. de compagnon, à 0,424.	2 54	
		13 86	13 f. 85
332	Le mètre quarré *id.* en sapin, de 0.^{m}02 à 0,03 d'épaisseur.		
	5.^{m}65 courants de planches, à 0 f. 60.	3 39	
	0.^{k}12 de clous, à 1 f. 30.	0 16	
	3 h. 20 de compagnon.	1 44	
		4 99	5 00
333	Le mètre quarré *id.* de 0.^{m}032 à 0,041 d'épaisseur.		
	3.^{m}80 courants de planches, à 1 f. 10.	4 18	
	0.^{k}15 de clous, à 1 f. 30.	0 20	
	4 h. 40 de compagnon, à 0,424.	1 87	
		6 25	6 25
334	Le mètre quarré *id.* de 0.^{m}06 d'épaisseur.		
	3.^{m}40 courants de madriers, à 2 f. 20.	7 48	
	0.^{k}20 de clous, à 1 f. 30.	0 26	
	5 h. 50 de compagnon, à 0,424.	2 33	
		10 07	10 10

335	Le mètre quarré de plancher de frise en planches refendues de 0.^{m}10 de largeur apparente, assemblées à rainures et languettes, en chêne, de 0.^{m}02 à 0,03 d'épaisseur.		
	5.^{m}80 courants de planches, à 1 f. 15.	6 f. 67	
	0 20 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 21	
	0.^{k}20 de clous, à 1 f. 30.	0 26	
	7 h. 50 de compagnon, à 0,424.	3 18	
		10 32	10 f. 30
336	Le mètre quarré *id.* de 0.^{m}32 à 0,041 d'épaisseur.		
	5.^{m}80 courants de planches, à 1 f. 50.	8 70	
	0.^{k}30 de clous, à 1 f. 30.	0 39	
	10 h. de compagnon à 0,424.	4 24	
	Sciage comme ci-dessus.	0 21	
		13 54	13 55
337	Le mètre quarré *id.* de 0.^{m}034 d'épaisseur.		
	4.^{m} » courants de doublettes, à 2 f. 95.	11 80	
	0 30 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 32	
	0.^{k}40 de clous, à 1 f. 30	0 52	
	14 h. de compagnon, à 0,424.	5 94	
		18 58	18 60

338	Le mètre quarré de plancher de frise, refendu, en sapin, de 0.m09 à 0,11 de largeur et de 0.m02 à 0,03 d'épaisseur.		
	6.m70 courants de planches, à 0 f. 60.	4 f. 02	
	0 20 quarrés de sciage, à 0 f. 80.	0 16	
	0.k 20 de clous, 1 f. 30.	0 26	
	6 h. 50 de compagnon, à 0,424.	2 76	
		7 20	7 f. 20
339	Le mètre quarré *id.* de 0.m32 à 0,041 d'épaisseur.		
	4.m40 courants de planches, à 1 f. 10.	4 84	
	0 30 quarrés de sciage, à 0 f. 80.	0 24	
	0.k 30 de clous, à 1 f. 30.	0 39	
	7 h. 50 de compagnon, à 0,424.	3 18	
		8 65	8 65
340	Plus-value pour le mètre quarré de plancher refendu, en chêne et sapin, posé en point de Hongrie.		1 20
	Parquets d'assemblages.		
341	Le mètre quarré d'assemblage en chêne, en feuille ou sans fin, bâtis et panneaux de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.		
	6.m80 courants de planches pour bâtis et panneaux, à 1 f. 50.	10 20	
	0 40 quarrés de sciage, à 1 f. 05.	0 42	
	0.k 10 de clous, à 1 f. 30.	0 13	
	0 02 de colle forte, à 2 f. 40.	0 05	
	13 h. de compagnon, à 0,424.	5 51	
		16 31	16 30

	Cloisons en bois de bateau.	
342	Le mètre quarré de cloison en planches de bateau à plats-joints, première qualité, brutes, posées jointives en chêne, clous compris.	3 f. 20
343	*Idem*, les planches dressées sur les rives.	3 65
344	*Idem*, les planches refendues, posées tant plein que vide, coulisses et entretoises non comprises.	1 80
345	*Idem*, de cloisons en planches à plat-joints, en planches de bateau, de première qualité, posées jointives en sapin, clous compris.	2 70
346	*Idem*, les planches dressées sur les rives.	3 10
347	*Idem*, les planches refendues, posées le plein égal au vide, coulisses et entretoises non comprises.	1 50
	Cloisons en bois neuf.	
348	Le mètre quarré de cloisons en planches corroyées des deux côtés, jointes à rainures et languettes en *chêne*, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur.	8 00
349	*Idem*, de 0.m032 à 0,041 d'épaisseur.	10 60
350	*Id.* de 0.m054.	15 10
351	*Id.* *en sapin* de 0.m020 à 0,030.	5 60
352	*Id.* *id.* de 0 032 à 0,041.	6 90
353	*Id.* *id.* de 0 054.	11 10

Escaliers en chêne.

354	Le mètre quarré de limons droits simples, refouillés, blanchis et mis en place, de 0.^{m}030 à 0,060 d'épaisseur.	16f.	90
355	Marches carderonnées pour escaliers droits, de 0.^{m}032 à 0,041 d'épaisseur. .	11	30
356	*Idem*, pour escaliers tournants ou irréguliers.	12	60
357	Le mètre quarré de contre-marches pour escaliers droits, de 0.^{m}020 à 0,030 d'épaisseur.	8	70
358	*Idem*, pour escaliers tournants ou irréguliers.	9	60
359	*Idem*, courant de main-courante en noyer, de 0.^{m}054 sur 0,052 à 0,041. .	5	10

MENUISERIE AU MÈTRE COURANT.

Bois neuf brut posé et cloué sans assemblages.

360	Le mètre courant de lambourdes, fourrures, tasseaux, chevrons, barres de cloison, etc., en chêne neuf brut sans assemblages, clous compris,		
	de 0.^{m}060 de largeur, de 0.^{m}020 à 0,030 d'épaisseur.	0	45
361	*id.* de 0 052 à 0,041.	0	55
362	*id.* de 0 054.	0	75
363	*id.* de 0 070 à 0,080.	0	90

364	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 sur la largeur, on ajoutera ou retranchera.	0f. 15
365	Le mètre courant de lambourde, etc., en sapin, de 0.m060 de largeur, de 0.m020 à 0.m030 d'épaisseur.	0 50
366	*id.* de 0 032 à 0,041.	0 40
367	*id.* de 0 054 ou plats-bords, de 0.m07 à 0,08.	0 65
368	Pour chaque augmentation ou diminution, de 0.m02 sur la largeur. . . .	0 10
	Bois neuf brut posé avec assemblages.	
369	Le mètre courant de tringles, poteaux, traverses, coulisses, etc., en chêne neuf brut assemblé et mis en place, de 0m.06 de largeur, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur	0 60
370	*Idem*, de 0.m032 à 0,041.	0 75
371	*Id.* de 0 054	1 00
372	*Id.* de 0 070 à 0,080.	1 20
373	*Id.* de 0 010 à 0,011.	1 85
374	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 sur la largeur. . . .	0 25
375	Le mètre courant de tringles, etc., en sapin brut neuf, assemblé, *idem*, de 0.m060 de largeur, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur.	0 45
376	*Id.* *id.* de 0 032 à 0,041 *id.*	0 55
377	*Id.* *id.* de 0 054 ou en plats-bords de 07 à 08.	0 85
378	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 de largeur.	0 25

	Bois neuf blanchi posé sans assemblages.	
379	Le mètre courant de planches, cimaises simples, bandeaux, ébrasements unis, crémaillères, coulisses, emboîtures, etc., employé sans assemblages, de 0.m060 de largeur, en chêne, de 0.m12 à 0,018 d'épaisseur.	0f. 60
380	Le mètre courant de planches, etc., de bois en chêne, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur.	0 70
381	Le mètre courant de planches, etc., de bois en chêne de 0.m032 à 0,041. .	0 85
382	*Id.* *id.* de 0 054. . . .	1 15
383	*Id.* *id.* de 0 070 à 0,080. .	1 30
384	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 de largeur. . . .	0 25
385	Le mètre courant de plinthes, cimaises, etc., de 0.m060 de largeur, en sapin, de 0.m012 à 0,018 d'épaisseur.	0 45
386	*Id.* de 0 020 à 0,030 *id.*	0 55
387	*Id.* de 0 032 à 0,041 *id.*	0 65
388	*Id.* de 0 054 ou en plats-bords de 0.m07 à 0,08.	0 95
389	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 de largeur.	0 15
	Bois neuf blanchi posé avec assemblages.	
390	Le mètre courant de bâtis de portes, poteaux apparents portant nervures pour la latte, chambranles ordinaires et à la capucine, traverses de châssis, lambris dormants et petits bois de croisées avec ou sans feuillures, moulures et	

	rainures, socles, etc., de 0.^{m}06 de largeur, en chêne, de 0.^{m}012 à 0,018 d'épaisseur.	0f. 70
391	*Id.* de bois de 0 ^{m}020 à 0,030.	0 85
392	*Id.* *id.* de 0 032 à 0,041.	0 05
393	*Id.* *id.* de 0 054.	1 30
394	*Id.* *id.* de 0 07 à 0,08	1 50
395	*Id.* *id.* de 0 10 à 0,11	2 20
396	Plus-value pour les poteaux d'huisserie carderonnés.	0 35
397	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.^{m}02 sur la largeur.	0 30
398	Le mètre courant de bâtis de portes, poteaux, etc., de 0.^{m}06 de largeur, en sapin, de 0.^{m}012 à 0,018 d'épaisseur.	0 55
399	*Id.* de 0 020 à 0,030.	0 65
400	*Id.* de 0 030 à 0,040.	0 75
401	*Id.* de 0 054 ou en plats-bords de 0.^{m}07 à 0,08.	1 10
402	Plus value pour les poteaux d'huisserie carderonnés.	0 25
403	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.^{m}02 de largeur.	0 20
	Bois neuf blanchi avec moulures, onglets, etc.	
404	Le mètre courant de moulures, cimaises riches, bordures, cadres pour figurer des lambris, etc., de 0.^{m}06 de largeur, en chêne, de 0.^{m}012 à 0,018 d'épaisseur.	0 85
405	*Id.* de 0.^{m}020 à 0,030.	0 95

406	*Id.* de 0 032 à 0,041.	1 f.	20
407	*Id.* de 0 054.	1	45
408	*Id.* de 0 07 à 0,08	1	75
409	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 de largeur.	0	35
410	Le mètre courant de moulures, etc., de 0.m06 de largeur, en sapin, de 0.m012 à 0,018 d'épaisseur.	0	65
411	*Id.* de 0.m020 à 0,030.	0	75
412	*Id.* de 0 032 à 0,041.	0	90
413	*Id.* de 0 054 ou en plats-bords de 0.m07 à 0,08.	1	20
414	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 sur la largeur. . . .	0	20
	Bois neuf ravalé avec refouillements et assemblages.		
415	Le mètre courant de corniches composées ou non de plusieurs pièces, chambranles ravalés en pilastre avec parcloses, etc., de 0.m06 de largeur, en chêne, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur.	1	10
416	*Id.* de 0 032 à 0,041.	1	35
417	*Id.* de 0 054.	1	65
418	*Id.* de 0 07 à 0,08	2	00
419	Pour chaque augmentation ou diminution de 0.m02 de largeur.	0	40
420	Le mètre courant de corniches, chambranles, *id.* de 0.m06 de largeur, en sapin, de 0.m020 à 0,030 d'épaisseur.	0	90
421	*Id.* de 0 032 à 0,041.	1	10
422	*Id.* de 0 054 ou en plats-bords de 0.m07 à 0,08.	1	40
423	Pour chaque augmentation ou diminution de 0 02 sur la largeur. . . .	0	30

	RÉPARATIONS DE MENUISERIE.	
	Ouvrages au mètre quarré.	
424	Le mètre quarré d'ouvrages déposés.	0f. 18
425	*Id.* *id.* transporté dans un autre établissement. . .	0 10
426	*Id.* *id.* reposé sans retaille.	0 50
427	*Id.* *id.* reposé avec retaille.	1 20
	Ouvrages au mètre courant.	
428	Le mètre courant d'ouvrages déposés.	0 05
429	*Id.* *id.* transporté dans un autre établissement ou arrangé dans un magasin.	0 03
430	*Id.* *id.* reposé avec ou sans retaille de longueur. . .	0 10
	Ouvrages au mètre quarré.	
431	Le mètre quarré de lambris à un parement, de toutes épaisseurs. . .	4 65
432	*Id.* *id.* blanc ou arasé, à deux parements. . . .	5 40
433	*Id.* de portes pleines, contrevents, dessus de tables, etc. .	3 00
434	*Id.* de croisées en glace, en chêne.	4 25
435	*Id.* de croisées à petits carreaux.	4 90
436	*Id.* de planchers, cloisons pleines non corroyées, mais dressées sur les rives et bouvetées.	1 30
437	*Id.* corroyées exprès.	2 70
438	*Id.* cloisons à claire voie, refendues ou non corroyées, mais dressées sur les rives.	0 50

439	*Id.* cloisons corroyées exprès.	1 f. 30
440	*Id.* parquet en feuille ou sans fin, déchevillé, orné à neuf.	3 25
	une partie des assemblages refaite, posée et affleurée.	1 30
	Nota. — Les pièces rapportées seront payées comme parquet neuf.	
441	Le mètre quarré de parquet corroyé sur place et mastiqué.	1 30
	Ouvrages au mètre courant.	
442	Bois brut posé et cloué sans assemblages, un cinquième des prix portés pour le même bois neuf.	1/5
443	*Id.* posé avec assemblages.	1/3
444	*Id.* blanchi, posé et cloué sans assemblages.	2/5
445	*Id.* posé avec assemblages.	1/2
446	*Id.* avec moulures, évidements, etc.	3/5
447	*Id.* ravalé avec refouillements, corniches, etc.	2/3
	Ouvrages à la pièce.	
448	Chaque assemblage à mi-bois.	0 06
449	*Id.* à tenons et mortaises.	0 25
450	*Id.* à onglet et queue d'aronde.	0 35
451	*Id.* à trait de Jupiter.	1 40
452	Le mètre courant de feuillures de toutes largeurs.	0 20
453	*Id.* de joints à rainures et languettes.	0 25
454	*Id.* de languettes neuves rapportées.	0 60
455	Chaque jeu donné à une porte ou croisée (jusqu'à cinq seulement).	0 30
456	*Id.* *id.* (quand il y en a plus de cinq).	0 20

SECTION IX. — PEINTURE. — *Prix élémentaires.*

Nos d'ordre	INDICATION DES JOURNÉES ET DES MATÉRIAUX.	Prix bruts	Prix avec faux frais et bénéfice.
457	La journée de 10 heures d'un peintre.	4 f. 00	4 f. 57
458	La journée de 10 heures d'un goudronneur.	4 50	5 64
459	Le kilogramme d'ocre jaune ou rouge, broyé à l'huile.	1 30	1 43
460	*Id.* de noir de charbon, *id.*	1 35	1 49
461	*Id.* de céruse de Clichy, *id.*	1 65	1 82
462	*Id.* d'huile ou essence, *id.*	1 50	1 65
463	*Id.* de mastic ou blanc détrempé à l'huile.	0 40	0 44
464	*Id.* de goudron.	0 33	0 36
		15 03	
	Prix composés.		
465	Un kilogramme de céruse de Clichy broyée à l'huile et détrempée avec huile et essence.		
	1.k » de céruse broyée à l'huile.	1 82	
	0 33 d'huile coupée d'essence, à 1 f. 65.	0 54	
	Total pour 1.k 33.	2 56	
	Et pour 1 kilog.		1 77

466	Un kilogramme d'ocre jaune ou rouge broyé à l'huile et détrempé avec huile et essence.			
	1 kilog. d'ocre jaune broyé à l'huile.		1 f. 43	
	1 kilog. d'huile broyée d'essence.		1 65	
	Total pour 2 kilog.		3 08	
	Et pour 1 kilog.			1 f. 54
467	Un kilogramme de noir de charbon broyé à l'huile et détrempé avec huile et essence.			
	1.k » de noir de charbon broyé à l'huile.		1 49	
	1 30 d'huile coupée d'essence, à 1 f. 65.		2 15	
	Total pour 2.k 30.		3 64	
	Et pour 1 kilog.			1 58
468	Un mètre quarré de peinture sur les bois de charpente, couleur gris-blanc.			
	1re couche, { 0.k 20 de céruse, à 1 f. 77.	0 f. 354	0 445	
	{ 0 h. 20 d'un peintre, à 0,457.	0 091		
	2e couche, { 0.k 16 de céruse, à 1 f. 77.	0 283	0 361	
	{ 0 h. 17 d'un peintre, à 0,457.	0 078		
	3e couche, { 0.k 14 de céruse, à 1 f. 77.	0 248	0 317	
	{ 0 h. 15 d'un peintre, à 0,457.	0 069		
	Total pour les trois couches.		1 123	1 15

469	Un mètre quarré de peinture sur bois de charpente, couleur de bois.			
	Détail pour un kilogramme de couleur :			
	0.k 50 de céruse, à 1 f. 77.		0f. 883	
	0 44 d'ocre jaune et rouge, à 1 f. 54.		0 678	
	0 06 de noir de charbon, à 1 f. 58.		0 095	
	Total.		1 658	
	Passé à.		1 66	
	1re couche, { 0.k 17 de couleur, à 1 f. 66.	0f. 282	0 373	
	0h.20 d'un peintre, à 0,457.	0 091		
	2e couche, { 0.k 14 de couleur, à 1 f. 66.	0 232	0 310	
	0h.17 d'un peintre, à 0,457,	0 078		
	3e couche, { 0.k 12 de couleur, à 1 f. 66.	0 199	0 262	
	0h.15 d'un peintre, à 0,457.	0 069		
	Total pour trois couches.		0 951	0f. 95
470	Le mètre couleur de pierre.			
	Détail pour un kilogramme de couleur :			
	0.k 60 de céruse, à 1 f. 77.		1 062	
	0 40 d'ocre jaune ou rouge, à 1 f. 54.		0 616	
	Total.		1 678	
	Passé à.		1 68	

	1re couche,	0.k 17 de couleur, à 1 f. 68.	0f. 286	0f. 377	
		0 h.20 d'un peintre, à 0,457.	0 091		
	2e couche,	0.k 14 de couleur, à 1 f. 68.	0 235	0 315	
		0 h.17 d'un peintre, à 0,457.	0 078		
	3e couche,	0.k 12 de couleur, à 1 f. 68.	0 202	0 271	
		0 h.15 d'un peintre, à 0,457.	0 069		
		Total pour trois couches.		0 960	1 f. 00
471	Le même, couleur olive.				
	Détail pour un kilogramme de couleur :				
	0.k 75 d'ocre jaune, à 1 f. 54.			1 155	
	0 25 de noir de charbon, à 1 f. 58.			0 396	
		Total.		1 551	
		Passé à.		1 55	
	1re couche,	0.k 16 de couleur, à 1 f. 55.	0f. 248	0 339	
		0 h 20 d'un peintre, à 0,457.	0 091		
	2e couche,	0.k 13 de couleur, à 1 f. 55.	0 201	0 279	
		0 h.17 d'un peintre, à 0,457.	0 078		
	3e couche,	0.k 11 de couleur, à 1 f. 55.	0 179	0 248	
		0 h.15 d'un peintre, à 0,457.	0 069		
		Total pour trois couches.		0 866	0 90

472	Un mètre quarré de peinture en noir sur les fers.		
	0.k 11 de couleur, à 1 f. 58.	0 f. 174	
	0 h.50 d'un peintre, à 0,457.	0 229	
	Total.	0 403	0 f. 40
473	Un mètre quarré de goudronnage sur bois neuf.		
	0.k 35 de goudron, à 0 f. 36.	0 126	
	0 h.20 d'un goudronneur, à 0,564.	0 113	
	Total.	0 239	0 25
	PEINTURE POUR LES OUVRAGES DE BATIMENTS.		
474	Le mètre quarré de lessivage à l'eau seconde.		0 09
475	*Id.* de grattage de carreaux vieux et parquets.		0 06
476	*Id.* *id.* de vieux plâtres, murs et plafonds.		0 10
477	*Id.* *id.* de boiseries ordinaires.		0 10
478	*Id.* *id.* sur fonds à l'huile et détrempe vernie.		0 25
479	*Id.* de rebouchage à la colle et collage de bandes de papier.		0 07
480	*Id.* *id.* à l'huile au mastic ordinaire.		0 10
481	*Id.* d'encollage à une couche.		0 12
482	*Id.* *id.* à deux couches.		0 20
	Ouvrages en détrempe.		
483	Le mètre quarré de plafonds blanchis, première couche.		0 13
484	*Id.* *id.* deux couches.		0 20

485	Id.	de brun et couleur de pierre, première couche.	0f.	10
486	Id.	id. deux couches.	0	17
487	Id.	de blanc mat détrempe bonne colle, une couche.	0	18
488	Id.	id. deux couches.	0	28
489	Id.	de ton lilas, bleu, jaune, chamois et vert de composition, 2 couches	0	28
490	Id.	id. trois couches, deux tons.	0	35
491	Id.	la plus-value de rechampissage, deux teintes.	0	10
492	Id.	id. trois teintes.	0	50
493	Id.	de carreaux en couleur, détrempe, encaustiqués et frottés.	0	40
494	Id.	de détrempes vernies, gris-brun et ton nankin.	1	37
495	Id.	id. de ton lilas, bleu, jaune et vert, deux tons.	1	62
496	Id.	id. id. trois tons.	1	87
497	Id.	coupe de pierre, détrempe, trois filets.	0	75
498	Id.	granit à la colle.	0	50
		Ouvrages à l'huile.		
499	Le mètre quarré	de gris-brun, couleur de pierre et couleur de bois, une couche.	0	37
500	Id.	id. id. deux couches.	0	65
501	Id.	id. id. trois couches.	0	90
502	Id.	gris-perle, gris vineux, gris de lin, ton nankin, ton de bois, ton lilas, bleu, jaune et vert de composition, deux couches.	1	13
503	Id.	gris id. trois couches.	1	50
504	Id.	la plus-value de rechampissage, deux teintes.	0	20

505	Le mètre quarré, la plus-value de rechampissage, trois teintes.	0f.	30
506	*Id.* vernis blanc, une couche.	0	37
507	*Id.* *id.* deux couches.	0	60
508	*Id.* vernis gras, une couche.	0	45
509	*Id.* *id.* deux couches.	0	80

DÉCORS.

510	Le mètre quarré de granit sablé de plusieurs teintes, sur fond à l'huile, deux couches.	1	15
511	*Id.* de coupe de pierre à l'huile, trois couches avec trois filets.	1	65
512	*Id.* de coutil de Bruxelles sur fond à l'huile, trois couches.	2	15
513	*Id.* de bois de toutes natures, *id.* trois couches.	2	15
514	*Id.* de marbre de toutes natures, *id.* trois couches.	2	15
515	*Id.* de bronze antique uni ou colorié à l'effet, sur fond à l'huile.	2	15

Ouvrages au mètre linéaire.

516	Ferrure à l'huile grasse, gris ou noir.	0	12
517	*Id.* en noir verni.	0	15
518	*Id.* en couleur vert bronzé.	0	18
519	Plinthes en marbre sur fond à l'huile et vernis.	0	50

SECTION X. — VITRERIE.

520	Verre d'Alsace, le mètre quarré, première classe.	5	00
521	*Id.* *id.* deuxième classe.	5	15

522	Verre de Bohême.		0f. 80
523	Dose à façon de verre.		0 90
524	Nettoyage de petits carreaux, la pièce.		0 02
525	*Id.* de grands carreaux, le mètre quarré.		0 25
526	Le mastiquage de vieux carreaux, *id.*		0 20
	SECTION XI. — Serrurerie.		
527	Journée de 10 heures d'un ajusteur.	3f. 70	4 65
528	*Id.* d'un aide-ajusteur.	2 40	3 01
529	*Id.* d'un forgeron.	5 00	6 28
530	*Id.* d'un aide-forgeron.	2 50	3 15
531	Le kilogramme de fer forgé quarré, plat, rond.	0 60	0 66
532	*Id.* de charbon de terre.	0 04	0 044
533	Un kilogramme de fer forgé pour ouvrages de grandes dimensions, qui ne comportent que quelques soudures ou ajustements aux extrémités.		
	1.k 00 de fer forgé plat, quarré ou rond, pour fournitures.	0 66	
	0 02 de déchet à l'emploi.	0 01	
	0 90 de charbon pour la fabrication, à 0,044.	0 04	
	0h.20 d'un forgeron et son aide, à 0,908.	0 18	
534	Un kilogramme de fer forgé pour ouvrages de dimensions moyennes, tels que ancres, tirants, crampons, ayant plus de 0.m30 de longueur, garde-fous, sabots, chevilles, boulons, jusqu'à 0 30 de longueur.	0 89	0 90

	Fourniture de fer comme ci-dessus.	0 f. 66	
	0 k 04 de déchet à l'emploi.	0 03	
	3 00 de charbon pour la fabrication.	0 13	
	0 h. 40 de forgeron et de son aide, à 0,908.	0 36	
		1 18	1 f. 20
535	Un kilogramme de fer forgé pour petits crampons, chevillettes, boulons, au-dessous de 0.m30 de longueur, étriers, frettes, équerres, plates-bandes et autres pièces chauffées en entier et comportant des trous, soudures et coudes.		
	1. k 00 de fer comme ci-dessus.	0 66	
	0 06 de déchet à l'emploi.	0 04	
	6 00 de charbon pour la fabrication, à 0,044.	0 26	
	0 h. 60 de forgeron et son aide, à 0,908.	0 54	
		1 50	1 50
	Un kilogramme de fer pour pose lorsqu'elle sera faite par l'entrepreneur.		
	1° Fer de grosses dimensions sans encastrement, } 0 h. 04 d'un ajusteur et de son aide, payé à 0 f. 64 l'heure.		0 03
	2° Fer de moyennes dimensions avec encastrement soigné, } 0 h. 10 d'un ajusteur et de son aide, payé 0,64.		0 06
	3° Fer de petites dimensions avec encastremt soigné, } 0 20 *id.* *id.*		0 13

OUVRAGES A LA PIÈCE.

Serrurerie d'une Borne-Fontaine.

536	Une porte en forte tôle de 0.m14 sur 0,16 cintrée, avec crampon pour le crochet.	9f.	00
537	Tourillons à patte, dont l'un rivé.	1	10
538	L'autre avec deux vis.	1	22
539	Pitons à patte, chantournés et épaulés, formant col-de-cygne pour le développement de la porte.	2	50
540	Boulons à têtes fraisées et écrous à pans pour fixer les pitons, à 0,75 l'un. .	0	75
541	Crochet pour fermeture, monté sur un pivot avec deux carrés, l'un pour la clef et l'autre pour le dit.	4	00
542	Percement de chacun des trous des boulons et du crochet.	0	30
543	Bride pleine pour boucher les trous d'arrivée ouverts sur les faces de la cuvette.	0	50
544	Boulons et écrous pour fixer les brides pleines.	0	60
545	Bride à oreille avec deux boulons à tête à chapeau pour l'entrée de la colonne dans la borne.	4	50
546	Percement et taraudage des trous des boulons, pour chacun. . . .	0	40
547	Boulons et écrous pour fixer le corps avec la cuvette, chacun. . . .	0	60
548	Lames en plomb et cuivre gras pour les joints.	13	00
549	Boulon tête quarrée, à cravatte, pour la bouche d'eau.	1	50
550	Percement d'un trou pour décharge.	0	30

	Serrurerie pour entretien des Bornes-Fontaines.		
551	Une petite clef.	1 f.	00
552	Vis à chapeau de 0.m08 de longueur.	1	00
553	Un picolet.	1	00
554	Un pêne de 0.m02 de largeur.	1	50
555	Un ressort à boudin ordinaire.	1	00
556	Un fort ressort à boudin trempé.	1	50
557	Une gâche rivée.	0	50
558	Une cache-entrée.	0	50
559	Un foncet de 0 m005 d'épaisseur portant son rouet attaché avec quatre clous rivés.	1	50
560	Une charnière double.	3	50
561	Une charnière à trois coudes.	4	00
562	Boulon de charnière.	0	60
563	Boulon à tête quarrée et clavette pour la bouche.	1	50
	Serrurerie pour les regards et bouches à clef.		
564	Clef de bouche à clef de 0.m13 à 0,16 de longueur.	12	00
565	Clef à crochet de 0.m27 de longueur pour les tampons de bouche à clef. .	3	50
566	Clef de robinet de borne-fontaine, limée et bien polie, avec pomme au bout.	9	00
567	*Id.* *id.* sans être limée ni pomme au bout. . .	6	00
568	Forte clef de sûreté, en chiffre, panneton tourmenté pour les serrures des regards.	6	00
569	Forte clef à trois branches pour l'ouverture des bornes-fontaines, coffres d'arrosement, bouches d'eau sous trottoirs.	5	00

SERRURERIE DES BATIMENTS.

	Gros Fers de Bâtiments.	
570	Les gros fers pour tirants, chaînes, étriers, corbeaux, potences, bandes, queues-de-carpe, harpons, etc., se paieront d'après leurs poids et aux prix fixés ci-dessus pour les fers de même espèce.	0f. 00
	Ferrures de Portes Cochères.	
571	Gros pivot à équerre de 0.m054 de branche, portant tourillon et congé avec ses clavettes goupillées, garni de sa crapaudine ou de son collier, suivant qu'il doit être placé dans le bas ou dans le haut du vantail.	25 00
572	Espagnolette de 0.m03 de diamètre, embases en cuivre, lacets à platine, coulisse pour le verrou du bas, le tout, compris le verrou.	27 00
	(La poignée comptant pour 0.m32 le mètre courant.)	
273	Barre de fleau avec sa tige, son moraillon, sa serrure à bosse, ses gâches à pattes et vis, et son boulon à écrou.	27 00
274	Pivot à tête quarrée, en cuivre, et tout posé.	10 00
275	Equerre double à congé pour maintenir les assemblages des vantaux, le mètre courant.	6 00

276	Marteau à heurtoir de 0.m0108 de diamètre, tête, clous carrés, un lacet à charnière et l'autre plat, tige taraudée à pointe de diamant, avec ses deux platines et son écrou rond fraisé.	6	60
577	*Id.* de 0.m162 de diamètre.	8	50
	Ferrures de Portes pleines.		
578	Fiche à boudin de 0.m11, renforcée et posée sur place.	0	70
579	Paumelle double en T de 0.m27, entaillée et fixée par douze vis. . . .	1	50
580	*Id.* de 0 22.	1	25
581	*Id.* de 0 162.	1	00
582	Charnières à pans de 0.m054, pour portes d'armoires entaillées et fixées par 6 vis.	0	50
583	*Id.* de 0 07	0	60
584	*Id.* de 0 01.	0	70
585	Charnière quarrée de 0 081, pour être posée en feuillure.	0	75
586	*Id.* de 0 10, renforcée de sept nœuds en grosse broche.. .	0	90
587	*Id.* de 0 12 *id.* . .	1	25
588	Penture à collet élargi de 0.m70 à 0,80 de longueur, entaillée et fixée avec vis fraisées, clous rivés, compris gonds à scellement.	5	00
589	*Id.* de 0.m65 de longueur.	4	00

590	Verrou à ressort, dit à demi-placard, blanchi pour les portes à deux vantaux, de 1.^{m}00 de longueur.	3 f.	00
591	*Id.* de 0 65.	2	25
592	*Id.* de 0 32.	1	76
593	*Id.* de 0 24.	1	24
594	Verrou à ressort, dit à placard, poli, pour le même usage, avec les crampons des conduits profilés, à baguette de 1 mètre de longueur.	4	50
595	*Id.* dit à placard, de 0.^{m}65.	3	25
596	*Id.* *id.* de 0 32.	0	25
597	Verrou à targette de 0.^{m}04, platine noire, bouton tourné.	0	75
598	*Id.* de 0 054.	0	90
599	*Id.* de 0 07.	1	25
600	Serrure ordinaire de 0 08, bon poussé, compris pose et entrée.	3	50
601	*Id.* de 0 16, à tour et demi, bon poussé, clef en chiffre, compris vis et entrée.	6	00
602	Serrure dite à l'anglaise de 0.^{m}16, bouton double, compris pose, vis et entrée.	11	00
603	*Id.* de sûreté, de 0.^{m}16, bon poussé, grosse broche, garniture tournée, deux clefs forées à jour, compris pose, vis et entrée.	12	00
604	Cadenas à charnière, clef en chiffre, de 0.^{m}054.	1	80
605	*Id.* *id.* de 0 08.	2	70

606	Clef de sûreté ordinaire, toute fendue et finie.	3 f. 00
607	*Id.* benard pour serrure ordinaire, polie	1 25
608	*Id.* de cadenas, grosse ferrure, panneton plein.	0 50
609	Dépose, nettoyage et repose à la même place d'une serrure de sûreté, tour et demi.	0 80
610	La même, huilée sur place seulement.	0 30
611	Dépose, nettoyage et repose à la même place d'une serrure de sûreté.	1 00
612	La même, huilée sur place seulement.	0 40
613	Dépose seulement d'une serrure.	0 30
614	Bec de canne de 0.m11, garni de son bouton double, en fer, gâche, vis et rosette.	3 00
615	*Id.* de 0 16.	4 00
	Ferrures de Croisées.	
616	Fiche à broche ou à bouton, de 0.m095.	0 45
617	*Id.* de 0 11.	0 60
618	Equerre simple de 0.m16 de branche, entaillée et posée avec vis.	0 30
619	*Id.* double, entaillée et posée avec neuf vis.	1 00
620	Espagnolette avec sa poignée pleine, trois embases, lacét, écrous, trois pannetons et deux crochets, le mètre courant, en fer de 0.m016.	3 00
621	*Id.* en fer de 0.m018.	3 50

622	Une poignée pleine et son support.	1 f.	25
623	*Id.* évidée en feuille de persil.	2	30
624	Les deux gâches et goujons d'arrêt.	0	60
	Ferrures des Volets et Persiennes.		
625	Fléau sur platine avec son support à patte, pour fermeture.	2	25
626	Poignée à pattes.	0	45
627	Pamelle simple en T, de 0.m27, avec son gond à repos et à pointe.	1	50
628	Pamelle faite exprès à équerre double, de 1.m10 de développement, entaillée, fixée avec vis et clous rivés, les angles soudés à l'anglaise et le nœud renforcé, garnie de gonds à scellement.	4	00
629	Loqueteau à platine garni de sa pointe, son tirage et anneau.	1	50
630	Support pour arrêt, de 0.m25 de longueur, portant une embase à congé pour recevoir la butée du vantail percé d'un trou, garni d'une broche à œil et de sa chaîne.	1	25
	SECTION XII. — FONTES.		
631	Le kilogramme de fonte de la première fusion, pour châssis et trappes.	0	32
632	*Id.* *id.* pour tuyaux.	0	36
633	*Id.* de la deuxième fusion, pour grilles.	0	40

634	Le kilogramme de refonte de vieille fonte pour châssis et trappes.	0 f.	205
635	*Id.* *id.* pour grilles.	0	28
636	*Id.* de plomb employé pour scellement, tout compris.	0	80
	SECTION XIII. — FUMISTERIE.		
637	Fourniture et pose d'un poêle, n° 3.	32	00
638	*Id.* *id.* n° 4.	36	00
639	*Id.* d'un mètre courant de tuyau de 0.m108 de diamètre.	2	75
640	*Id.* *id.* de 0 081 *id.*	2	50
641	Ramonage d'une cheminée.	0	50
642	Nettoyage d'un poêle et des tuyaux, quel que soit leur nombre.	2	00
643	Pose d'un poêle lorsque cette pose entraîne la fermeture d'une cheminée.	3	00
644	*Id.* sans fermeture de cheminée.	1	50
645	Tuyau et coude de 0.m108.	0	85
646	*Id.* de 0 081.	0	75
647	Refaçon d'un poêle.	6	00
648	Une plaque en fonte au-dessus du foyer.	2	25
649	Four en tôle.	4	50
650	Un cendrier.	1	50
651	Une chevrette.	0	50

CHAPITRE II.

ARCHITECTURE HYGIÉNIQUE.

L'architecture hygiénique comprend :

1° Le chauffage et la ventilation des appartements;
2° L'éclairage;
3° L'eau;
4° Les cuisines;
5° Les latrines;
6° Les caves;
7° Les plombs, ruisseaux et puisards.

ARTICLE Ier.

CHAUFFAGE ET VENTILATION DES APPARTEMENTS.

S'il est une partie défectueuse dans les constructions civiles, c'est, sans contredit, celle qui a pour but le chauffage et la ventilation des appartements. Dès qu'un propriétaire, et par conséquent un architecte, ou, si l'on aime mieux, un fumiste, a placé un poêle dans la salle à manger, et une cheminée dans le salon et chacune des chambres à coucher, il se considère comme ayant rempli, vis-à-vis du locataire, toutes les conditions de chauffage; à celui-là de s'en tirer comme il pourra, lorsqu'il voudra faire du feu dans deux de ses appareils à chauffer à la fois. Est-ce ignorance ou économie qui fait persister dans cette routine d'appareils inutiles, c'est ce que nous ne pouvons dire; mais ce qu'il y a de certain, c'est qu'une réforme est devenue indispensable, et se fera d'un jour à l'autre.

Déjà, sous les noms de *calorifères*, *cheminées mobiles*, etc., certains poêliers-fumistes sont parvenus à faire acquérir, par les locataires, poêles et cheminées qu'ils trimbalent avec eux de logement en logement et qu'ils s'empressent de substituer aux poêles et cheminées de leurs propriétaires; il faut espérer que les prix de ces appareils, dont la plupart sont assez bien conçus, venant à baisser, les propriétaires se décideront à en faire l'acquisition, ou tout au moins à disposer leurs chambres de manière à les pouvoir recevoir convenablement.

Mais il ne suffit pas de blâmer, il faut donner les moyens de remédier au mal, et nous allons tâcher de résoudre cette question du *chauffage*, qui n'est pas dépourvue de difficultés dans l'application.

De tous les appareils divers que l'on emploie pour le chauffage des habitations, il en est deux classes bien distinctes, dont les fonctions, bien qu'arrivant au même but, diffèrent essentiellement entre elles; ces deux classes sont :

Les cheminées,

Les poêles.

Dans les cheminées, le chauffage a lieu par rayonnement du combustible sur l'air même de la pièce à chauffer.

Dans les poêles, le chauffage a lieu par contact de l'air à chauffer avec les canaux de circulation de la fumée du combustible.

Dans les cheminées, le volume de l'air qui sort de la pièce à chaque instant, pour s'en aller avec la fumée par son canal de fuite, est d'autant plus considérable que l'embrasure de la cheminée est plus grande.

Dans les poêles, le volume de l'air qui sort de la pièce à chaque instant, pour s'en aller avec la fumée du combustible, est toujours très-petit, et dépasse de très-peu celui strictement nécessaire pour produire la combustion.

Dans le premier cas, il y a ventilation plus ou moins considérable; dans le second, il n'y a pas, pour ainsi dire, de ventilation.

Comme dans le second cas on utilise non-seulement la chaleur transmise par contact, mais aussi la chaleur rayonnante; de plus, comme la quantité d'air renouvelée à chaque instant est infiniment moindre que dans le premier cas, le chauffage, au moyen des poêles, est infiniment plus économique que celui au moyen des cheminées.

Mais, comme nous l'avons observé plus haut, avec les cheminées il y a ventilation, c'est-à-dire renouvellement constant de l'air vicié par les personnes qui se trouvent dans la pièce et les appareils d'éclairage, tandis qu'il n'y en a pas avec les poêles. Comme salubrité, les cheminées sont donc préférables et doivent être placées dans toutes les pièces où l'on séjourne longtemps. Les poêles, au contraire, ne doivent être placés que dans les pièces de passage ou de séjour intermittent, comme les salles à manger.

Comme on le voit, dans les dispositions actuelles des maisons d'habitation, chacun de ces appareils occupe strictement la place qui lui appartient. Il n'y aurait donc rien à dire, si, malgré l'énorme différence qui existe entre les consommations de combustible, pour obtenir la même température, par un

poêle ou par une cheminée, chacun des appareils de chauffage d'un même appartement pouvait fonctionner régulièrement quand on y met le feu.

Mais voilà ce qui n'a pas lieu; le renouvellement de l'air de la pièce, emporté avec la fumée dans les tuyaux, ne se fait que par les fissures des portes et fenêtres de cette pièce même ; les premières donnant de l'air des pièces voisines ; les secondes donnant de l'air extérieur.

Lorsque ces fissures sont suffisamment grandes, la combustion a lieu régulièrement sans fumée dans la pièce, abstraction faite des effets du vent et du soleil sur les tuyaux, dont nous ne parlerons pas.

Si ces fissures sont trop faibles, il y a dégagement de fumée dans les pièces jusqu'à temps que l'on ouvre une porte ou une fenêtre.

Mais si la combustion a lieu régulièrement dans une pièce, grâce à l'air froid que débitent les fissures des portes et fenêtres de la pièce, elle devient impossible sitôt que l'on allume du feu dans deux pièces contiguës; car, alors, chacune des pièces ne peut plus compter sur l'air dont sa voisine l'alimentait, et alors, à tirage égal, les deux cheminées fument, et à tirage inégal, l'une marche parfaitement tandis que l'autre remplit la pièce de fumée.

Ainsi, il faut qu'il soit bien entendu, pour un locataire qui entre dans une maison, qu'il ne fera de feu que dans une cheminée à la fois, et qu'on ne lui garantit l'absence de fumée qu'à cette condition. Mais ce n'est pas tout, car, aujourd'hui, où l'on brûle de plus en plus de la houille, il arrive que, en faisant du feu alternativement dans deux pièces, le salon et la chambre à coucher, par exemple, une odeur fort désagréable de suie se fait sentir dans la pièce où il n'y a pas de feu, par suite de l'arrivée de l'air froid par la cheminée de cette pièce.

De là, ce premier principe :

Toute pièce dans laquelle est établi un appareil de chauffage, doit avoir, avec l'extérieur, un tuyau de communication susceptible de donner accès à autant d'air qu'il en sort de la pièce par la cheminée.

Mais, dira-t-on, cet air est froid, et loin de chauffer la pièce, il la refroidit. Nous répondrons que ce qu'il y a de certain, c'est que le fait a lieu quand il ne fume pas; seulement, au lieu d'air extérieur, c'est un mélange de cet air avec celui des pièces voisines qui s'introduit dans la pièce chauffée.

Pour remplir le but que nous venons d'énoncer ci-dessus,

on fit autrefois les ventouses, sorte de soufflets placés devant la cheminée, et dirigés tantôt sur les pieds et les mains de ceux qui se chauffent, et alors empêchant très-bien la fumée de venir dans la pièce, tantôt sur le combustible, et alors divisant constamment la fumée et la forçant, malgré elle, à se répandre dans la pièce.

De quelque manière qu'on les ait appliquées, ces ventouses ont donc toujours été plutôt un inconvénient qu'un avantage.

Plus tard, avec infiniment plus de sens, on prit le parti, pour diminuer la ventilation, de faire les cheminées plus petites, se disant : plus la section de la cheminée sera petite, plus elle se rapprochera de la somme de celles des fissures qui l'alimentent. On obtint ainsi les cheminées actuelles, c'est-à-dire celles qui vont bien seules; mais on ne résolut pas le problème, car, par cette méthode, on emprunte de l'air aux pièces voisines, ce qu'il ne faut pas.

Or, nous avons dit que dans les cheminées ordinaires, on n'utilise que la chaleur rayonnante du combustible; si donc nous utilisons la chaleur par contact à chauffer l'air venant de l'extérieur, nous n'éprouverons plus de difficulté à introduire ce dernier dans la pièce en aussi grande quantité qu'il en faudra.

A cet effet, il suffit de composer la cheminée de deux parties, savoir :

L'une à circulation d'air chaud;

L'autre à circulation d'air froid.

Ces deux parties étant séparées l'une de l'autre par une cloison métallique, l'air froid s'échauffe aux dépens de l'air chaud qui se refroidit.

Cette disposition, si simple à concevoir en théorie, est d'une application difficile, mais non insurmontable en pratique.

Non-seulement la prise d'air froid présente de grandes difficultés, mais encore l'usage de l'appareil nécessite des soins que les parisiens n'aiment pas beaucoup prendre.

En effet, les cheminées s'établissent toutes dans les murs de refend, à l'exception de quelques-unes qui se placent au-dessous de fenêtres dans les murs de face, et auxquelles cette disposition est facilement applicable.

Quand les murs de refend sont contigus aux murs de face, il est facile de pratiquer dans leur intérieur un conduit horizontal allant prendre de l'air à l'extérieur, à moins que l'on ne rencontre une porte ou une armoire qui vous

en empêche. Quand ils ne sont pas contigus, il faut alors faire venir l'air froid par le plancher, ce qui n'est possible qu'autant que les solives sont perpendiculaires à ce mur, et vont se perdre dans un mur de face opposé.

En un mot, il y a presque toujours moyen d'amener un conduit d'air froid jusqu'à la cheminée, dans un mur de refend; mais cela est difficile, et souvent le conduit est trop petit. Ce qu'il faudrait donc, c'est que les cheminées fussent établies dans les murs de face; car, alors, une prise d'air à l'extérieur n'est rien. Mais ici se présente un autre inconvénient : les murs de face se font tous aujourd'hui en pierres de taille de 50 centimètres (1 pied 6 pouces) d'épaisseur moyenne; or, un tuyau de cheminée ne peut avoir moins de 30 centimètres (11 pouces) de diamètre; si on ajoute tout autour 10 centimètres (4 pouces) de briques, il en résulte que le conduit en briques se montre à l'extérieur, ce qui est impossible, non-seulement à cause du peu d'élégance que cela offrirait à l'extérieur, mais encore pour la liaison des assises du mur.

Les cheminées adossées aux murs de face en pierres de taille, ne sont donc admissibles qu'autant qu'elles feraient saillie sur la face intérieure de ce mur. Mais, alors, c'est de la place qu'elles prennent à la pièce, et on n'est pas toujours disposé à subir cette exigence, si elle doit déprécier le logement. Néanmoins, nous pensons, pour nous résumer, qu'il n'y a pas à hésiter pour adopter cette disposition, s'il est tout-à-fait impossible d'amener de l'air froid à une cheminée placée dans un mur de refend. Dans ce cas seulement, au lieu de laisser au mur toute son épaisseur de 50 centimètres (1 pied 6 pouces), on ne lui en donne que 30 (11 pouces) à l'endroit des cheminées, et alors ces dernières, qui ont 50 centimètres (1 pied 6 pouces) d'épaisseur totale, ne saillent plus intérieurement que de 30 centimètres (11 pouces).

Quant à la disposition de la cheminée en elle-même, nous dirons qu'il y a deux moyens principaux pour arriver au résultat, savoir :

1° Faire circuler l'air froid autour du foyer et d'une petite longueur de son tuyau, ces deux parties étant métalliques ;

2° Faire circuler l'air froid dans un tuyau serpentant de différentes manières dans le tuyau de la cheminée.

Ces deux méthodes sont aussi bonnes l'une que l'autre, parce que chacune d'elles a ses petits inconvénients que nous allons examiner.

Si l'air froid circule autour d'un foyer métallique, il faut que ce foyer soit en fonte ou en tôle de fer d'au moins 2 millimètres (1 ligne) d'épaisseur, la tôle mince étant tout-à-fait impropre à ce genre de construction, à cause de sa dilatation et de sa contraction, qui, non-seulement la déforment, mais encore lui font faire un bruit insupportable. Alors, l'appareil coûte cher, mais il remplit parfaitement le but que l'on se propose.

Si l'air froid circule dans un tuyau, il faut que ce tuyau soit assez long pour que l'air s'échauffe suffisamment, et alors l'intérieur de la cheminée est embarrassé, et elle se nettoie difficilement; de plus, ce tuyau se recouvre de suie. Il existe néanmoins des appareils, notamment l'appareil Laroche, qui chauffent l'air par ce procédé. Ce dernier s'applique à toute espèce de cheminée; il est du prix de 40 fr., remplit assez bien le but proposé, mais il ne chauffe pas beaucoup et donne peu d'air.

Le premier est donc, à notre avis, ce qu'il y a de préférable, et déjà plusieurs fabricants de calorifères en tôle, notamment Jacquinet, disposent leurs cheminées pour chauffer de cette manière. Il faudrait que, au lieu de cheminées, les propriétaires livrassent une niche à poêle portant :

1° Un trou inférieur amenant de l'air froid;

2° Un trou supérieur communiquant avec un tuyau de fumée. Cette niche serait recouverte d'une glace suffisamment isolée, au-dessus de laquelle aurait lieu l'arrivée de l'air extérieur dans la pièce. Mais il en coûterait un peu cher au locataire, car une cheminée du genre de celles dont nous voulons parler, coûte au moins 100 francs; il est vrai que, dans ce cas, on aurait des appareils convenables.

Une chose dont il est important de parler ici, c'est ce nouveau conduit d'air froid qui débouche dans la pièce.

Nous dirons :

1° Que l'air extérieur ne doit pouvoir y entrer que par un grillage métallique inaccessible aux oiseaux ou aux souris;

2° Que la construction intérieure doit être telle, que les souris n'y puissent pénétrer d'aucune part;

3° Que l'ouverture qui existe dans la pièce doit pouvoir facilement se fermer à la main.

Le but des deux premières dispositions est d'éviter les odeurs plus ou moins désagréables qui résultent de la combustion, soit des animaux qui séjournent dans ces conduits, soit de leurs excréments.

Le but de la troisième, est d'éviter l'introduction d'air

froid dans la pièce, quand on n'y fait pas de feu, ce qui a lieu infailliblement après la combustion, par suite du tirage qu'établit la température acquise par le tuyau de fumée, en briques.

Or, c'est précisément là qu'est l'écueil de ces appareils; jamais on ne pense à fermer l'introduction de l'air froid, quand elle est ouverte, ou à la mettre en proportion avec la combustion. Il résulte de là, qu'au lieu d'appareils de chauffage, on a des appareils de refroidissement l'hiver, et d'échauffement l'été, ce qui n'est pas avantageux. Pour rendre l'entrée de l'air froid proportionnelle à la combustion, nous pensons que l'ouverture de l'orifice d'introduction doit être réglée par la combustion elle-même. Pour cela, il suffit de profiter, comme dans beaucoup de calorifères-poêles, de la dilatation d'une tige de fer ou de cuivre, faisant mouvoir un clapet ou une valve de gorge.

Il nous est arrivé, avec une cheminée de ce genre, que nous avions établie dans notre chambre, dans les Vosges, de nous réveiller une nuit, surpris par une température de 13° au-dessous de zéro, après nous être endormis avec une de quatorze ou quinze au-dessus; nous avions oublié de fermer l'orifice d'introduction de l'air froid. Ce fait, comme on le voit, n'est pas sans gravité, et pourrait amener les résultats les plus fâcheux.

Pour nous résumer et légitimer le blâme que nous avons lancé, dans le commencement de cet article, contre les cheminées que l'on trouve actuellement dans les maisons d'habitation, nous dirons que nous avons exposé dans toute leur étendue les inconvénients qui peuvent rendre difficiles à appliquer les principes que nous avons émis, et que si on eût travaillé plus tôt à les vaincre, au lieu de continuer à suivre l'ancienne routine, on serait arrivé aujourd'hui au résultat voulu, et on aurait des appareils de chauffage sinon parfaits, du moins satisfaisant à la condition la plus importante de toutes, savoir : chauffer sans fumée.

Nous ne parlerons pas des trappes ni des foyers mobiles, excellents appareils, dont l'un évite l'emploi du soufflet, tandis que l'autre augmente la quantité de chaleur rayonnante utilisée, tout en diminuant la section de la cheminée; nous dirons seulement, qu'ils peuvent s'associer avec grand avantage aux dispositions dont nous avons parlé.

Il existe aujourd'hui un assez grand nombre d'hôtels et d'édifices publics chauffés par des calorifères dont le foyer est dans une des caves de la maison. Ces calorifères chauffent tantôt de l'air, tantôt de la vapeur, tantôt de l'eau.

Les calorifères à air chaud lancent l'air dans les pièces par des conduits pratiqués dans les murailles; cet air sort à 40°, en moyenne, dans les pièces.

Les calorifères à vapeur consistent en une chaudière à vapeur, lançant cette dernière dans des petits tuyaux qui circulent dans les pièces à chauffer.

Les calorifères à eau chaude consistent, comme les seconds, en une chaudière communiquant avec des tuyaux d'un plus fort diamètre que ceux à vapeur, et remplis, ainsi que la chaudière, d'eau qui circule constamment par suite de la différence de densité existant entre deux colonnes principales, savoir :

Colonne d'eau chaude,
Colonne d'eau refroidie.

Les calorifères à air chaud ont l'avantage de renouveler constamment l'air des pièces; mais ils présentent divers inconvénients, savoir :

1° Ils envoient dans les appartements l'air d'une cave qui sent quelquefois le moisi ;

2° Leurs conduits sont quelquefois fréquentés par les chats, les rats et les souris, qui y déposent des matières dont l'odeur est entraînée par l'air chaud ;

3° L'air chaud, qui se dégage dans les pièces, ayant été pris à une basse température, est excessivement peu saturé d'humidité, eu égard à sa nouvelle température, et alors il fatigue considérablement ceux qui le respirent.

Les calorifères à vapeur passent pour les plus dangereux, et ce sont sans contredit les meilleurs.

En effet, la vapeur circule sans pression aucune dans des tubes presque invisibles, qui lancent une quantité de chaleur aussi considérable que les tubes à eau chaude, dont les diamètres sont triples et quadruples. La vapeur condensée, redescend à la chaudière par des conduits ménagés exprès, et celle qui a circulé sans se condenser dans tous les tuyaux, se dégage dans l'air.

Les calorifères à eau chaude, si multipliés dans ces derniers temps, et que l'on vient d'établir avec tant de luxe à la Chambre des Pairs, ont l'avantage de chauffer très-régulièrement et d'entretenir dans les pièces une douce chaleur qui

n'incommode jamais; mais ils présentent le grave inconvénient d'établir sur la chaudière une charge d'eau égale à la hauteur de l'édifice, laquelle est de 20 à 30 mètres et plus, quelquefois. Cette charge d'eau, qui rend les explosions beaucoup plus dangereuses qu'avec la vapeur, parce que l'eau chaude brûle toujours l'individu qu'elle atteint, tandis que la vapeur ne le brûle que quand il est près, présente en outre le grave inconvénient d'occasioner des fuites invisibles, qui lancent de l'eau dans les planchers et pourrissent le bois.

A notre avis, c'est le chauffage à vapeur qui doit être préféré, toutes les fois qu'il s'agit de chauffer toutes les pièces de plusieurs étages au moyen d'un seul foyer. Nous disons cela avec intention, car le temps n'est peut-être pas très-éloigné où l'on chauffera les maisons à plusieurs locataires de cette manière. Le chauffage à vapeur est le plus facile, le plus économique, et le moins apparent à établir; de plus, il présente, non pas une économie sur le chauffage de chaque particulier, mais l'avantage de chauffer toutes les pièces d'un même appartement pour le prix que coûte d'ordinaire le chauffage de deux pièces, comme cela a lieu maintenant.

ARTICLE II.

ÉCLAIRAGE ET EAU.

Nous considérons ici l'éclairage et l'eau comme empruntés aux tuyaux qui circulent dans les rues de Paris, et vont porter l'un aux boutiques et aux becs qui éclairent la ville, l'autre aux bornes-fontaines, et aux divers réservoirs qui alimentent les porteurs d'eau.

Le temps peut être éloigné où l'on substituera l'éclairage par le gaz à l'éclairage par les liquides dans l'intérieur des maisons d'habitation. La difficulté d'apprécier exactement la consommation, et les frais d'établissement des appareils, seront encore longtemps un obstacle à la solution de ce problème par la population nomade de Paris; il ne faut espérer que le confortable pénétrera chez nous, que quand les propriétaires auront pris les devants.

Nous en dirons à peu près autant sur les distributions d'eau dans les maisons, qui, à Londres, sont si communes, et si rares à Paris.

Nous n'avons pas d'observations à faire sur l'introduction de ces deux séries d'appareils dans les constructions civiles; ce que l'on fait aujourd'hui est ce qu'il y a de mieux à faire;

les principes, d'ailleurs, de ces genres de constructions, sont assez connus pour que nous ne croyions pas devoir les traiter ici.

ARTICLE III.

CUISINES.

Les cuisines ont été l'objet de l'examen de l'un de nos plus célèbres chimistes, qui a donné les moyens de les construire salubres pour les cuisiniers, et incapables de répandre soit l'odeur des mets, soit l'acide carbonique des fourneaux, dans les appartements. Les architectes devraient un peu consulter les travaux de M. d'Arcet sur cette matière, quand ils construisent des maisons d'habitation; car, comme les cheminées, c'est une des plaies auxquelles les locataires sont généralement exposés quand ils ont cette pièce sous la même clef que l'appartement.

Suivant le combustible employé, il existe différentes espèces de cuisines : il y a les cuisines au bois, les cuisines au charbon de bois, les cuisines à la houille, sans compter celles qui emploient deux de ces trois combustibles alternativement, ou les cuisines, dites économiques, de MM. Lemare, Sorel et autres, qui nécessitent chacune des appareils spéciaux.

Dans ce dédale de cuisines diverses, il y a un point capital qui ne change jamais; c'est une combustion journalière dans une série de foyers, sans cheminée spéciale à chacun, occupant un espace déterminé.

Le devoir de l'architecte, construisant une cuisine, est d'affecter à tous ces foyers un espace dépendant de la dimension de la pièce, et de recouvrir cet espace d'une hotte communiquant à une cheminée, et construite de manière à emporter tous les gaz qui peuvent se dégager des foyers, ce qui s'obtient facilement au moyen d'une inclinaison suffisante et d'un bon tirage.

L'examen de la cuisine entraîne nécessairement avec lui celui de la pierre d'évier servant à laver la vaisselle, et qui, lorsqu'elle est mal entretenue, contribue aussi à lancer dans les appartements une odeur fétide; mais nous renvoyons son examen à celui des plombs et gouttières.

ARTICLE IV.

LATRINES.

Les latrines sont, de toutes les parties incommodes des habitations, celles qui se supportent le moins facilement, et dont

les effets sont le plus délétères. Aussi existe-t-il un nombre infini d'inventions et d'appareils dits inodores, que les propriétaires se sont empressés d'adopter, et qui sont loin de remplir encore le but que l'on se propose d'atteindre.

Les appareils hydrauliques (*fig.* 11 et 12, 13 et 14) dont on fait le plus d'usage aujourd'hui, satisfont presque complètement à la condition voulue, savoir, rendre le local inodore; mais ils présentent le grave inconvénient pour le propriétaire et les locataires, de jeter dans la fosse une quantité considérable d'eau qui contribue à la remplir plus promptement, et à nécessiter de plus fréquents vidages qui sont à la fois coûteux et désagréables.

Il est un moyen pourtant de rendre les latrines complètement inodores, sans qu'il soit nécessaire d'y jeter de l'eau.

Pour cela, il suffit d'adapter à la partie inférieure du tuyau principal, terminé inférieurement par un évasement plongeant dans le liquide de la fosse, un second tuyau allant jusqu'au toit de la maison, et portant intérieurement un appareil de tirage, tel qu'un lampion allumé, un ventilateur à force centrifuge ou à hélice mu par un contre-poids, etc.; ce tirage pourrait être également produit par une cheminée du rez-de-chaussée ou de la cave, constamment allumée. Par ce moyen, il y aurait appel d'air du dehors au dedans du tuyau, et jamais les exhalaisons de la fosse ne s'échapperaient dans les latrines.

En admettant le tirage le plus coûteux, c'est-à-dire le lampion brûlant des matières grasses communes à raison de 30 grammes par heure, ces matières coûtant 0 fr.50 le kilogramme, la consommation par vingt-quatre heures serait de 30 × 24 = 720 grammes, soit 0 fr. 36. En disposant le lampion convenablement, on pourrait l'utiliser pour éclairer le bas de l'escalier pendant toute la nuit.

A 36 c. par jour, on a, au bout de l'année, 132 fr., et un emplissage de la fosse moitié, au plus, de ce qu'il était auparavant dans le même temps. Aux propriétaires à faire leurs calculs.

La figure 15 représente une disposition de latrines ayant pour but de séparer les matières solides des matières liquides.

ARTICLE V.

CAVES.

On trouvera dans le *Manuel du Sommelier*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*, tous les détails d'hygiène nécessaires pour qu'une cave soit susceptible de conserver du vin sans le détériorer. On y verra que le voisinage des latrines ou de la rue

est mauvais, et que l'on doit, autant que possible, l'éviter, surtout pour les vins de prix.

ARTICLE VI.

CONDUITS DES EAUX PERDUES ET SALES.

Eviers, Plombs, Gouttières, Ruisseaux, Puisards.

Une partie de ces appareils, les ruisseaux et les puisards, sont soumis à l'inspection rigoureuse du conseil de salubrité, aussi sont-ils rarement des producteurs d'exhalaisons malsaines pour les locataires.

Les éviers et les plombs sont destinés à recevoir les mêmes substances, abstraction faite des urines dont, nous aimons à le croire, les plombs seuls sont gratifiés dans les maisons où la paresse d'aller jusqu'aux latrines l'emporte sur le goût de la propreté. En général, les eaux de lavage de vaisselle et de savonnage, sont ce que reçoivent le plus souvent ces appareils. Ces eaux sont susceptibles de dégager des odeurs putrides, principalement l'été; de plus, lorsqu'elles ont servi à faire blanchir des choux ou des choufleurs, elles sont insupportables et malsaines, car elles dégagent de l'hydrogène sulfuré presque pur.

Il serait coûteux d'appliquer à ces appareils une ventilation comme aux latrines; mais ce qui ne souffre aucun inconvénient, c'est un fréquent lavage à grande eau qui nettoie en même temps les tuyaux et les ruisseaux.

Bien qu'il n'y ait pas grande modification à faire dans ces appareils, nous croyons devoir citer un plomb qui, par sa disposition, ne peut jamais donner d'odeur dans l'escalier ou la pièce dans lesquels il est établi; nous voulons parler du plomb à cuvette mobile autour d'un axe horizontal inférieur, n'occupant aucun espace à l'intérieur, quand elle est fermée, et n'y dégageant jamais d'odeur.

Parmi les éviers, il en est dont les eaux tombent dans un seau que l'on vide dans le plomb, et d'autres dont les eaux vont directement au tuyau de descente. De ces deux systèmes, le second paraît préférable et présente pourtant un grave inconvénient; en effet, pour qu'il n'y ait pas de dégagement des exhalaisons du tuyau dans la cuisine, on le munit d'un bouchon en cuivre fermant bien exactement; la manœuvre de ce bouchon est d'abord ennuyeuse et peut être oubliée; de plus, chaque fois qu'on l'ouvre, pour faire écouler l'eau, il se dégage une certaine quantité de gaz dans la pièce.

Il y avait à l'Exposition des appareils fort simples pour éviter cet inconvénient.

LIVRE III.

CONSTRUCTION DES ROUTES.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES SUR L'ÉTABLISSEMENT DES CHAUSSÉES EN GÉNÉRAL.

La construction d'uue route réside presque tout entière dans le projet.

Le projet d'une route comprend :

Le *tracé*, le *nivellement*, le *profil*, le *calcul des déblais et remblais*, le *calcul des terrassements*, la *dépense*, etc.

La *direction* d'une route diffère de son tracé, en ce que la direction est déterminée par les points principaux par lesquels la route doit passer ; tandis que le tracé est déterminé par les circonstances locales et indique tous les points par lesquels elle passera.

La direction est du ressort de l'administration ; le tracé est du ressort des ingénieurs. Dans les chemins de fer, le tracé diffère rarement de la direction.

Dans certains cas la direction est laissée au choix de l'ingénieur.

Quand il se présente des montagnes, on commence par déterminer le point le plus bas de ces montagnes.

Il y a plusieurs moyens pour déterminer ce point.

Quand on examine une étendue plus ou moins considérable de terrain, on remarque qu'il y a des pentes principales dans les montagnes, qui, partant des crêtes de premier ordre, arrivent à des fleuves de premier ordre. Au milieu d'une crête principale est un point culminant. On a déduit de l'observation les principes suivants :

1° *Si un faîte principal est rencontré par deux faîtes secondaires en un même point, le point de rencontre est un maximum de hauteur.*

2° *Si un faîte principal est rencontré par deux talwey, en un point, le point de rencontre est un point minimum.*

3° *Si un faîte principal est rencontré par un faîte secondaire et un talwey, on ne peut rien en conclure.*

Quand la direction d'une route n'est pas déterminée par des considérations étrangères à l'art de l'ingénieur, il faut la fixer ainsi :

1° On choisit la direction qui permet d'éviter les mouvements de terre considérables nécessités par le comblement des vallées et les tranchées des montagnes.

2° Lorsqu'on est dans un pays de plaines, on doit, pour le facile entretien de la route, la placer autant que possible sur un sol qui ait de la déclivité des deux côtés de la route, de manière que les eaux aient partout un facile écoulement.

3° Dans les pays de montagnes, on se maintient autant qu'on le peut dans les vallées ; mais dans ces vallées il faut, autant que possible, choisir le versant exposé au midi ; si on ne peut être au midi, choisir l'est de préférence à l'ouest. Il faut éviter le versant du nord à cause de l'humidité. Il faut placer la route assez haut pour qu'elle ne soit pas exposée à être détruite par les crues des cours d'eau qui existent dans le fond des vallées. Il faut aussi lutter contre les corrosions des cours d'eau.

Dans les plaines et dans les vallées, il faut éviter d'asseoir la route sur un sol glaiseux qui est mobile quand il est humide. Les terrains tourbeux sont dans le même cas. Il faut éviter les lieux pénétrés par des sources et entrecoupés par des fondrières.

Lorsque l'on a étudié plusieurs directions, si on trouve que quelques-unes sont également avantageuses, sous le rapport administratif et la dépense d'établissements, on a alors égard à la nature et au prix des matériaux, ainsi qu'aux circonstances qui peuvent influer sur le plus ou moins de facilité d'entretien.

Lorsque l'on trace une route dans un pays de plaines, on ne fait aucune considération d'art.

Dans les montagnes, on étudie le tracé de manière à rendre la pente ce qu'elle doit être.

La pente maximum en France est de $^1/_{20}$.

En Angleterre $^3/_{100}$.

1 mètre courant de route avec déblais et remblais coûte 20 francs.

Route dans une montagne.

Soit un coteau compris entre deux plans horizontaux, ayant pour hauteur h (*fig.* 1, *Pl.* XXII). Il s'agit de passer du plan inférieur au plan supérieur, en parcourant le plus court chemin avec la pente de $^1/_{20}$.

Soit AB la direction de la route, on a :

$$CB = 20\,CA$$

Soit $AC = 17$ mètres, $CB = 20 \times 17 = 340$ mètres.

Soient donnés deux points A et B (*fig.* 2) dans le plan supérieur et le plan inférieur.

Il pourra se présenter différents cas, suivant la position relative des points et l'inclinaison du terrain.

Soient en projection horizontale différents coteaux (*fig.* 3) : A sur le coteau inférieur, B sur le coteau supérieur ; considérons un tracé et le tracé infiniment voisin :

$$cb = ab \cos. abc = ab \cos. \beta = ge \cos. \alpha''', \text{ etc.},$$

on obtient :

$$\cos. b \cos. \beta' \cos. \beta'' \cos. \beta''', \text{etc.} = \cos. \alpha \cos. \alpha' \cos. \alpha'' \cos. \alpha''', \text{etc.}$$

Pour le cas le plus simple, où il n'y a qu'un coteau, $\cos. \beta = \cos. \alpha'''$, il fallait donc mener par A et B (*fig.* 4) deux lignes parallèles faisant avec les deux lignes du plan l'angle β ou α'''. On obtient ainsi deux points C et D que l'on joint par une droite CD, si sa pente est plus faible que $^1/_{20}$, ou que l'on brise, comme dans la figure 5, si sa pente est plus forte, jusqu'à temps qu'elle devienne égale à $^1/_{20}$. La longueur de cette pente se détermine comme plus haut.

ARTICLE Ier.

TRACÉ DES ROUTES.

Le tracé des routes se compose de parties tracées en ligne droite ; on passe ensuite d'une route à une autre par des angles ; on fait alors une portion courbe.

Quand on a à tracer une ligne droite entre deux points, il se présente différents cas :

1° Si les points A et B (*fig.* 6) sont en plaine, on se sert de jalons.

2° Si les deux points A et B (*fig.* 7) sont invisibles l'un pour l'autre, par la différence de pente, on prend un troisième point c, on aligne A sur ce point, et on prend un quatrième

point sur A c ; puis de B on dirige un rayon sur C. Comme A C B n'est pas en ligne droite, ce rayon ne passe pas par D. Alors on prend un point d' sur B C, et on dirige un rayon de A ; ce rayon ne passant pas par C, on prend c' sur A d' et on dirige un rayon B c', etc., jusqu'à temps que les deux points c^u d^u soient en ligne droite avec A et B, auquel cas la ligne A C d''B sera droite.

On emploie pour cela une *alidade*.

3° Si les points A et B (*fig.* 8) sont séparés par une forêt, on fait ainsi :

On mène A C arbitrairement, puis C D. On mesure l'angle A C D $= \alpha$. On mène ensuite B D de manière à faire un angle $= 180 - \alpha$. Alors B D est parallèle à A C. On prend B e = A C, et B e est la distance entre A et B ; car A B e C est un parallélogramme (deux côtés égaux et parallèles). On emploie le graphomètre.

Quand la forêt est considérable, on emploie la boussole.

Pour cela on mène A C (*fig.* 9), on détermine l'angle de l'axe magnétique en A avec A C. Connaissant l'angle C A x, on porte la boussole en B, et on fait le même angle avec B E et B y. Les deux lignes A x et A y sont parallèles, donc A C et B E le sont aussi. On prend B E = A C ; on joint C E. Si par le point A on marche parallèlement à C E, c'est-à-dire en faisant constamment l'angle β avec l'aiguille aimantée, on arrive à B.

§ 1er. — RACCORDEMENTS.

Le plus convenable consiste dans un arc de cercle. On partage l'angle des deux lignes en deux parties égales ; alors on a un centre O (*fig.* 10) partout où on le veut. Pour décrire l'arc A B, on remarque que l'angle A D B est constant ; donc tous les points pour lesquels les rayons visuels donneront un angle = A D B avec A et B, seront situés sur l'arc. On peut aussi employer l'équation du cercle :

$$x^2 + y^2 = r^2$$

ou : $$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

Les subalternes emploient le moyen suivant :

On prend A C (*fig.* 11), prolongement de la route A, arbitraire ; C D perpendiculaire, arbitraire.

A D prolongé donne D E = A C
E F perpendiculaire = 2 C D
D F prolongé donne F G = A C
G H perpendiculaire = 2 D C, etc.

On arrive en dehors ou en dedans de B. On prend alors une longueur A C moyenne qui mène à B.

Il est des circonstances où on ne peut prendre des distances égales de part et d'autre de l'angle ; dans ce cas on fait un raccordement parabolique.

Soient donnés A et B (*fig.* 12) à raccorder : on joint A B ; par le milieu de A B, et par le sommet C, rencontre des deux routes, on mène C D. On considère O comme sommet de la parabole.

$$AF = ED = DF = FB$$
$$E\alpha = 1/4\, EE' \quad F'6 = 1/4\, FF'$$

Puis ensuite on prend la moitié de AE et AF, DE, DF ; on mène des parallèles, on prend $^1/_{16}$ et on a une parabole, ce qui peut se vérifier facilement.

On peut encore la construire au moyen des tangentes.

On partage A C et B C (*fig.* 13) en quatre parties égales chacune, ou plus ; on joint, comme nous avons fait, un à un, deux à deux, trois à trois, quatre à quatre, etc. La courbe tangente est la courbe demandée.

On a alors, E D étant parallèle à A G (*fig.* 14), et C D égal à A E :

$$BE : AE :: BD : BG$$
$$CF : FA :: CD : DG :: AE : DG$$
$$BE + DB : BE :: CA : FA$$
$$FA = \frac{CA \times BE}{BE + BD}$$
$$BE = 3 \text{ parties.}$$
$$BE + DB = 3 \text{ parties} + 2 \text{ parties} = 5 \text{ parties.}$$
$$FA = \frac{CA \times 3p}{5p} = {}^3/_5\, CA.$$

Raccordements particuliers.

Soit à raccorder C A avec D B par A et B (*fig.* 15) : on élève en A et B les deux perpendiculaires A E, B F égales entre elles. On joint A B. Par F on mène F G parallèle à A B. Du point E, comme centre avec E G = 2 A F, on décrit un arc de cercle qui rencontre F G en G. On joint AG. Par le point O', rencontre de A G avec B F, on mène O O' parallèle à E G. Les deux points O O' sont les centres des cercles de raccordement.

Nous allons démontrer que A O' = B' O.

En effet : $EG : AE :: OO' : AO'$ . . . . . (1)

$AG : AO :: GE : OO'$

$:: AE : AO'$

Menons GL parallèle à BF et BL parallèle à FG, on a :

$LG = BF = AE.$

Or : $EG : OO' :: AE : AO'$ (tiré de (1))

$:: AG : AO$

Mais $AO : AG :: BO : GL :: BO : AE = LG$

donc : $BO : AE :: AO' : AE$

Or AE est commun, donc $BO = AO'$.

Ou bien encore :

$BO : GL :: AO : AG \quad GL = AE = BF$

Donc : $BO : AE :: AO : AG$

Mais $AO' : AE :: AO : AG$

donc : $BO = AO'$

Maintenant $2AE = EG$ donc $2AO' = OO'$.

Lorsque l'axe de la route est tracé, il faut étudier le terrain sur lequel on veut l'établir. Cette étude comprend le levé des plans et les nivellements.

§ 1er. — LEVÉ DES PLANS.

Le levé des plans consiste à mesurer les distances entre les différents points remarquables qui se trouvent sur la route.

Le levé des plans s'effectue au moyen de la *chaîne d'arpenteur*, de l'*équerre*, de l'*alidade*, de la *boussole*, du *niveau d'eau*, etc.

§ 2. — NIVELLEMENTS.

1° *Nivellement en long.*

Soit ACEG (*fig.* 16) un terrain dont on veut avoir le nivellement.

On appelle *coups d'avant* les hauteurs de la lunette au-dessus des points vers lesquels on se dirige, et *coups d'arrière* les hauteurs de la lunette au-dessus des points d'où l'on vient.

On appelle h, h', h'', etc., les coups d'avant, et h_1, h'_1, h''_1, etc., les coups d'arrière.

La lunette étant entre A et B, on donne un coup d'arrière sur A et un coup d'avant sur B. On mesure les hauteurs h_1 et h' de l'axe de la lunette au-dessus de ces points, sur des jalons

placés en ces points. $h' - h$ est la différence de niveau. On en fait autant pour les autres points, et on a ainsi la différence de niveau entre plusieurs points consécutifs.

Ainsi :

Entre A et B la différence de niveau est $h' - h_1$
Entre B et C. . . . . $h'' - h'_1$
Entre C et D. . . . . $h''' - h''_1$
etc., etc.

Si on voulait un point entre A et C, puisque C est plus bas que B de $h'' - h'_1$, et B plus bas que A de $h' - h_1$, C est plus bas que A de $h'' - h'_1 + h' - h_1 = h'' + h' - h_1 - h'_1$.

Et en général, pour un point quelconque :

$$h' + h'' + h''' + \text{etc.}, - h_1 - h'_1 - h''_1 - h'''_1 - \text{etc.}$$

c'est-à-dire la différence entre la somme des coups d'avant pris jusqu'à ce point, et la somme des coups d'arrière pris à partir du premier point.

Pour s'y reconnaître, on dresse un tableau ainsi :

(*Voir ce Tableau à la page suivante.*)

Au lieu de se donner une ligne au-dessus des points dont on prend le nivellement, on part du niveau moyen de la mer, ce qui fait que tous les nivellements sont rapportés à la même directrice et se vérifient les uns par les autres.

Quand on a fait le nivellement en long pour une route, on fait des nivellements en travers de distance en distance, suivant que le terrain présente plus ou moins d'irrégularités.

Les nivellements en travers se font absolument de même que les nivellements en long. Ils sont dans un plan perpendiculaire à l'axe de la route.

Quand on a déterminé tous les points par où passera la route d'après les nivellements en long et en travers, on procède à la construction de la route.

ARTICLE II.

CONSTRUCTION DES ROUTES.

Parmi les routes, on distingue :

Les routes royales,
Les routes départementales,
Les chemins vicinaux.

Les routes royales sont celles qui partent de Paris vers les principales villes de France et de l'Etranger.

REPAIRES des piquets.	DISTANCE.	COUPS d'avant.	COUPS d'arrière.	DIFFÉRENCES positives.	DIFFÉRENCES négatives.	ORDONNÉES rapportées.	OBSERVATIONS.
A.....		»	h_1			10^m	Les ordonnées rapportées sont les distances verticales par rapport à une horizontale qu'on se donne à une certaine distance d'un des points.
	d			$h'-h_1$	»		
B.....		h'	h'_1			$10+h'-h_1$	
	d'			$h''-h'_1$	»		
C.....		h''	h''_1			$10+h'-h+h''-h'_1$	
	d''			$h'''-h''_1$	»		
D.....		h'''	h'''_1			$10+h'-h_1+h''-h'_1+h'''-h''_1$	
	d'''			....	h'''_1-h^{iv}		
E.....		h^{iv}	h^{iv}_1				
	d^{iv}			....	$h^{iv}_1-h^{v}$		
F.....		h^{v}	h^{v}_1			$10+h'+h_1+h''-h'_1+h'''-h''_1-(h'''_1-h^{iv})$, etc.	
	d^{v}			....	$h^{v}_1-h^{iv}$		
G.....		h^{vi}	h^{vi}_1				

Il y en a trois classes.

Les routes royales de première classe vont de Paris aux capitales étrangères.

Celles de seconde classe vont de Paris aux principales villes de France.

Celles de troisième classe sont celles qui réunissent les différents chefs-lieux.

Les routes départementales servent à établir la communication entre les départements voisins ou entre plusieurs villes d'un même département.

Les chemins vicinaux servent à établir la communication entre les communes d'un même département.

Les parties constituantes des routes sont : la chaussée, les accotements et les fossés.

1° *Chaussée.*

Elle est destinée aux voitures et formée de matériaux résistants.

2° *Accotements.*

Ils sont en terre naturelle et servent de chemins d'été.

3° *Fossés.*

Ils sont destinés à recevoir les eaux de la route.

Une route a la forme représentée *fig.* 17.

La largeur des différentes parties d'une route varie suivant son importance.

Celles qui aboutissent à un grand centre de population ont une grande largeur. Près Paris les routes ont 7 à 8 mètres de chaussée ; plus loin 5 mètres. Cinq mètres suffisent pour le croisage de trois voitures. Afin de garantir les accotements des dégradations, près Paris on laisse croiser trois voitures.

Les accotements ont de 2 mètres à 4.^{m}56 de large. La largeur des fossés varie en raison de la quantité d'eau qu'ils doivent recevoir.

Dans les terrains horizontaux, les fossés sont des cuvettes entre lesquelles sont des arbres. Elles ont, près Paris, 2 mètres de large en haut.

Sur les routes départementales, la chaussée a de 3 mètres à 5 mètres de large, et les accotements de 1.^{m}50 à 2.^{m}50 ; les fossés ont 0.^{m}50 de large.

La forme des profils des routes varie suivant leur position.

1° *Chaussée bombée.*

En remblais (*fig.* 18).

Le bombement est de 0.m02 par mètre sur la chaussée. On donne 0,50 de base au talus du fossé. Son inclinaison est de 45°.

2° *Chaussée à revers.*

En déblais (*fig.* 19).

Deux talus de 45°. Les revers A, B ont 1.m50 de large; le pavé s'étend sur ces revers.

3° *Chaussée fendue* (*fig.* 20).

Deux revers dont le milieu est pavé.

Dans les villes, ces chaussées disparaissent; on leur substitue la chaussée à revers.

Dans les montagnes on fait ainsi (*fig.* 21):

D = déblais.
R = remblais.
D = R.

Les voitures sont poussées par la force centrifuge, voilà pourquoi on incline la route. On garantit par un mur en terre naturelle quand la route est élevée (*fig.* 22).

On conserve un aqueduc, d'intervalle en intervalle, pour les eaux (*fig.* 23).

Influence de la pente longitudinale sur les chargements.

On donne ordinairement une pente de 0,005 par mètre pour l'écoulement des eaux.

Route de niveau sur une pente = 0
m chevaux portant 11,000 kilogrammes.

Sur une pente de $^{10}/_{1000}$ ils porteront : 9,900 kil.
$^{20}/_{1000}$ 8,955
$^{30}/_{1000}$ 5,859

Lorsqu'on a fait le nivellement sur l'axe de la route, pour le rapporter sur le papier, on a des ordonnées prises par rapport à une ligne fixe (*fig.* 24).

On porte sur la ligne horizontale AB les points A, C, D, E F, B, où on a donné des coups de niveau. On prend ordinairement pour échelle des longueurs 1/10 de l'échelle des hauteurs, laquelle est 1 centimètre ou 1/2 centimètre pour mètre.

On porte ensuite les ordonnées, comme nous venons de le

dire, à une échelle dix fois plus grande que celle des longueurs, afin d'avoir une certaine distance entre le profil du terrain et cette horizontale.

On étudie alors son projet. Quand on a une pente plus grande que 5 centimètres par mètre, on fait déblais et remblais (*fig.* 25), de manière à avoir un volume égal de part et d'autre, autant que possible.

$a\ d$ = pente du terrain.
$b\ e$ = pente de la route.
$a\ b\ c = d\ e\ c.$

Les déblais en excès donnent des terres dont on ne sait que faire, et qui coûtent de toute manière, parce qu'il faut s'en débarrasser.

Voici le calcul que l'on fait pour avoir les surfaces de déblais et de remblais égales :

DE (*fig.* 26) est l'inclinaison du terrain entre AD et EB ; AB est l'inclinaison que nous donnons.

1° On détermine la position du point de passage C.

Pour cela :

$$DC : CE :: DO : EO'$$
$$OF : O'G :: OC : CO'$$
$$:: DC : CE$$
$$FC : CG :: DO : EO'$$
$$FC + CG : FC :: DO + EO' : DO$$
$$FC = \frac{FG \times DO}{DO + EO'}$$

FG est connu, DO et EO' se déterminent ainsi :

Soient h, h', h'', h''' les ordonnées des points A, D, E, B, la différence de niveau entre A et B est :

$$h''' - h.$$

$$\frac{h''' - h}{l + l' + l''} = P = \text{pente par mètre.}$$

Pl est l'ordonnée du point o par rapport au point A. Son ordonnée par rapport à la ligne de niveau sera : $Pl + h$.

Connaissant $Pl +$ et h', nous aurons Do :

$$Do = Pl + h - h'$$
$$Eo' = h'' - h - P(l + l')$$

d'où : $$FC = \frac{FG\,(Pl + h - h')}{Pl + h - h' + h'' - h - P\,(l + l')}$$

FG est connu, P se donne d'avance. l et l'' sont indéterminés, l' est connu. On peut se donner l et l'', mais alors les deux triangles ADC, CEB sont déterminés et ne sont pas égaux. On aura pour déterminer l et l'' les deux équations :

$$P = \frac{h''' - h}{l + l' + l''}$$

$$\text{Surf. } ADC = \text{surf. } CEB.$$

ADC se décompose en deux (*fig.* 27).

$$ADI' + AI'C \qquad DI = h - h'$$
$$ADI' = AI' \times {}^1\!/_2\, DI \qquad IF = P\,(l + FC)$$
$$AI'C = AI' \times {}^1\!/_2\, IF \qquad AI' = l + II'$$
$$II' : FC :: DI : DF$$
$$:: h - h' : h - h' + P\,(l + FC)$$

d'où : $$II' = \frac{FC \times (h - h')}{h - h' + P\,(l + FC)}$$

et $$AI' = l + \frac{FC\,(h - h')}{h - h' + P\,(l + FC)}$$

$$ADC = {}^1\!/_2\, AI'\,(DI + IF) = {}^1\!/_2\, AI' \times DF$$
$$= {}^1\!/_2 \left(l + \frac{FC\,(h - h')}{h - h' + P\,(l + FC)}\right)(h - h' + P\,(l + FC)$$
$$= {}^1\!/_2 \left((h - h')\,(l + FC) + lP\,(l + FC) \right)$$
$$= {}^1\!/_2\,(l + FC) \quad (h - h' + lP)$$

D'après ce on a :

$$CEB = {}^1\!/_2\,(l'' + l' + FC) \quad \left(h'' - h''' + P\,(l + l' + l'') \right. \\ \left. - P\,(l + l')\right)$$
$$= {}^1\!/_2\,(l'' + l' - FC) \quad (h'' - h''' + Pl'')$$

Donc :

1° $(l + FC)\,(h - h' + lP) = (l'' + l' - FC)\,(h'' - h''' + Pl'')$

$$2^{o} \quad . \quad . \quad . \quad P = \frac{h''' - h}{l + l' + l''}$$

$$3^{o} \quad . \quad . \quad . \quad FC = \frac{l' (Pl + h - h')}{h'' - h' - Pl'}$$

3 équations à 3 inconnues : l, l'', FC.

Dans ce cas, la surface de déblais est égale à la surface de remblais.

On trace en lignes noires pleines le profil du terrain, et en lignes noires ponctuées ce qui y est relatif.

On trace en lignes rouges pleines le profil de la route, et en lignes rouges ponctuées ce qui y est relatif.

Après avoir fait les profils en long, on fait des profils en travers. Ces profils sont perpendiculaires à la ligne axe de la route. On les prend là où le terrain change de forme.

La surface du terrain doit être considérée comme une surface gauche engendrée par une ligne qui, restant parallèle à l'axe de la route, se meut sur deux profils en travers consécutifs.

Il est bon, dans les montagnes, d'étendre les profils en travers assez loin. Lorsqu'on a un coteau très-aride avec des formes tourmentées, il faut avoir la représentation fidèle du coteau.

Pour cela, le nivellement se compose d'une suite de plans horizontaux dont la projection est horizontalement, comme le représente la figure 28.

Les lignes non hachées sont les lignes de plus grande pente. Ces plans sont distants les uns des autres de 1 mètre (3 pieds).

Quand on a arrêté un tracé sur un plan de ce genre, il faut pouvoir faire des profils en travers. On aura des hypothénuses de triangles rectangles.

ARTICLE III.

CALCULS DES DÉBLAIS ET REMBLAIS.

On considère la surface de la route engendrée par une ligne droite se mouvant parallèlement à l'axe sur un profil en travers.

Soient deux profils en déblais (*fig.* 29).

A B, C D sont les lignes de niveau.

Les points singuliers du premier profil sont $a, b, c, d, e, f, g, h, i$, et ceux du second a', b', etc.

Nous appellerons cotes noires, les distances verticales à la ligne de niveau relatives au terrain.

Nous appellerons cotes rouges, les distances verticales entre le terrain et la route.

Nous connaissons toutes les cotes noires, elles ont été déterminées par le levé en travers des différents profils.

Nous connaissons le passage α, α' de l'axe de la route; les distances des points α, α' aux lignes de niveau ont été calculées pour avoir des surfaces de déblais égales aux surfaces de remblais en ces points, sur la longueur.

Nous connaissons la largeur de la route, par conséquent sa demi-largeur; nous connaissons la largeur du fond des fossés, leur profondeur et l'inclinaison de leurs talus.

Le premier problème à résoudre est :

Etant données les cotes noires, c'est-à-dire la pente P du terrain et la pente p du talus AD du fossé, trouver la surface ADC (*fig.* 30).

Pour cela, on abaisse AB perpendiculaire sur CD, et on a :

$$AB \times P = CB$$
$$AB \times p = BD$$
$$(P + p)\, AB = CD \qquad AB = \frac{CD}{P+p}$$

d'où : $$\text{Surface } ACD = AB \times {}^1/_2\, CD = {}^1/_2\, \frac{CD^2}{P+p}$$

On se donne CD qui est la profondeur.

Quand on a résolu ce cas, tous les autres sont faciles.

Recherche des cotes rouges.

On a à résoudre constamment le problème précédent; ainsi, pour le représenter par une formule, soient :

$$AB = x \ (\textit{fig. } 31).$$
$$CD = h$$
$$x = \frac{h}{P+p}$$

Soit le profil *abcdefghi* (*fig.* 32).

Il y a à calculer d'un côté les cotes rouges des trois points b, c, d, en supposant a donnée.

Connaissant $paa', bb', cc', dd', a'b', b'c', c'd'$; on demande bb'', cc'', dd''.

On a pour bb'' : $bb'' = (P+p)\,am = (P+p)\,a'b'$

$$c''c = c''m' + b''b = b'c' \times P + (P+p)\,a'b'$$

$$dd'' = d''m'' + m''d = b'd' \times P + (dd' - b'b'')$$

Si la route est en remblais, les calculs sont aussi faciles.

Ayant considéré la surface du terrain comme une surface gauche engendrée par une droite se mouvant parallèlement à l'axe, snr deux profils consécutifs; ayant fait la même hypothèse pour la route, on remarque que, si deux profils consécutifs sont l'nn en remblais, l'autre en déblais, les deux surfaces gauches se rencontreront snivant des lignes droites dont nous allons déterminer les points singuliers, autrement dits *points de partage*.

Soient deux profils (*fig.* 33).

Le profil AB est en déblais, le profil CD est en remblais. AB et CD sont les projections horizontales de ces profils, et l'espace compris entre AB et CD est la projection horizontale des deux surfaces gauches. La projection horizontale de leur intersection sera donc entre ces deux lignes.

Pour trouver cette projection, je coupe les deux profils par une série de plans verticaux parallèles à l'axe de la route. Je mène ces plans par les différents points singuliers des deux profils, tant dn terrain que de la route. Dans chacun de ces plans se trouvent deux lignes droites qui se croisent. Nous trouverons leur point d'intersection par la méthode suivante.

Considérons le plan $aa'\,bb'$. Nous avons une ligne partant de a et allant en b, et une autre ligne partant de a' et allant à b'. La distance horizontale étant $\alpha6$, on peut donc représenter ce plan vertical comme dans les figures 34 et 35.

Il s'agit de déterminer c.

Nous connaissons $\alpha a'$, αa, $6b'$, $6b$, par les méthodes déterminatives de ces points déjà données.

Nous connaissons donc aa' et bb', puis $\alpha6$.

Soient $aa' = h$, $bb' = b$, $\alpha6 = d$, $cd = x$

$$cd : cd' :: aa' : bb'$$

$$x : d - x :: h : h'$$

$$h'x = dh - hx$$

$$x\,(h' + h) = dh$$

$$x = \frac{dh}{h + h'}$$

Nous déterminons ainsi les différents points singuliers, tels que c, sur l'intersection des deux surfaces, et nous joignons ces points en projection horizontale entre les deux profils A B, C D (*fig.* 35), par des lignes droites, ce qui donne ce qu'indique la figure.

Connaissant toutes les cotes nécessaires pour calculer les déblais et les remblais, nous allons voir comment on les calcule.

1° Cas d'un talus et d'une surface gauche pour bases inférieure et supérieure, formant un solide dont les arêtes sont parallèles et donnent un rectangle pour section perpendiculaire.

Soient A B C D (*fig* 36) la surface gauche;
E F G H le talus;
E' F' G' H' la section perpendiculaire aux arêtes.

$$\text{Soient}\begin{cases} AE = h, & CG = h'' \\ BF = h', & DH = h''' \end{cases}$$

$$\text{Prenons}\begin{cases} AA' = h' & CC' = h''' \\ BB' = h & DD' = h'' \end{cases}$$

Le solide A B'C'D'E F G H aura pour arêtes :

$$h + h', \quad h + h, \quad h'' + h''', \quad h''' + h''$$

Ce solide sera un prisme tronqué, car :

La droite A'B sera parallèle à EF, puisque E A' = F B'.

La droite, etc.

Celles du bas sont parallèles deux à deux, donc celles du haut le seront aussi : la figure sera un parallélogramme.

Le volume d'un prisme tronqué =

$$B\left(\frac{2h + 2h' + 2h'' + 2h'''}{4}\right), \text{ B étant la base.}$$

Le solide ABCDEFGH est moitié de ce solide, puisque tout est symétrique de part et d'autre; donc le solide cherché sera :

$$B\left(\frac{h + h' + h'' + h'''}{4}\right)$$

2° Il peut se présenter que la base en talus, au lieu d'être un parallélogramme, soit un trapèze, alors on la calcule ainsi (*fig.* 37).

Soient : A B C D la surface gauche;
E F G H le trapèze.

Si nous supposions la surface supérieure engendrée par une droite BC se mouvant parallèlement à elle-même, il s'ensuivrait qu'il resterait un triangle du côté de AD non rempli, puisqu'on suppose AB > DC. Alors on suppose la surface engendrée par une droite se mouvant de telle manière qu'elle partage AB et DC en parties proportionnelles. Partant de là, menons par AE et CG un plan, il détachera deux prismes terminés supérieurement par une surface gauche. Si nous faisons passer deux plans, l'un par ABC, l'autre par ADC, nous aurons alors deux troncs de prismes dont les mesures seront :

$$EFG \times \left(\frac{h+h'+h''}{3}\right) \text{ et } EHG \times \left(\frac{h+h''+h'''}{3}\right)$$

Nous ferons encore passer un plan par les deux arêtes parallèles DH et FB, et nous aurons deux nouveaux troncs de prismes.

Appelant t, t', t'', t''' les quatre triangles bases, la somme de ces quatre prismes sera :

$$t\left(\frac{h+h'+h''}{3}\right)+t'\left(\frac{h'+h''+h'''}{3}\right)$$

$$+t''\left(\frac{h''+h'''+h}{3}\right)+t'''\left(\frac{h'''+h+h'}{3}\right)$$

Ce volume est le double du volume total. Si nous le divisons par 2, nous aurons le volume du déblais entre les deux surfaces =

$$t\left(\frac{h+h'+h''}{6}\right)+t'\left(\frac{h'+h''+h'''}{6}\right)+\text{etc.}$$

Au moyen de ces deux solides, nous pouvons mesurer tous les solides de déblais et de remblais qui se présenteront; car, s'il y a des pyramides, on a $2h$ qui ne font qu'un.

Une méthode expéditive pour calculer les déblais et remblais, consiste à considérer la route et le terrain comme plans ; alors, on a pour deux profils consécutifs en remblais et déblais (*fig.* 38).

Soient $l = d + r$ D = surf. de déblais.

$d = \frac{D \times l}{D + R}$ $r = \frac{R \times l}{D + r}$ R surf. de remblais.

Volume $D = \frac{D d}{2}$ vol. $R = \frac{R r}{2}$

Tableau pour déblais et remblais.

Nos d'ordre.	Indication des solides.	Largeurs.	Hauteurs moyennes.	Surface.	Surf. moyenne.	Longueur moyenne.	CUBE. Déblais.	Remblais.
1	A	α	h	$S = \alpha h$	»	L	d	r
2	B	β	h'	$S' = \beta' h'$	»	L'	d'	r'
3	C	γ	h''	$S'' = \gamma h''$	»	L''	d''	r''
4	D	δ	h'''	etc.	»	L'''	d'''	r'''
etc.	etc.	etc.	etc.		»	etc.	etc.	etc.

CHAPITRE II.

CONSTRUCTION DES CHAUSSÉES.

On distingue trois espèces de chaussées :

Les chaussées en fer ;

Les chaussées pavées;

Les chaussées empierrées.

Les premières, dites *chemins de fer*, ne datent que de quelques années, bien que depuis plus de deux siècles ce genre de chaussées soit employé pour transports à de petites distances dans les mines de l'Angleterre. Ce n'est qu'en 1800 que les chemins de fer ont été employés comme voies de grandes communications.

Les chaussées pavées, ou garnies primitivement en pierres dures, comme l'indiquent les anciennes voies romaines, et maintenant en grès affectant tantôt la forme cubique, tantôt

la forme parallélipipède rectangle, sont presque exclusivement employées maintenant sur les routes de grandes communications, quand toutefois le grès ne coûte pas trop cher de transport.

Les chaussées empierrées, qui font la base de la presque totalité des routes secondaires en France, se composent de petites pierres accumulées les unes sur les autres, suivant certaines dispositions que nous décrirons plus loin.

Les quantités de poids transportés sur ces diverses chaussées par une même force, sont très-variables, comme on peut le voir par le tableau suivant :

Rapports entre la force employée et le poids transporté.

GENRE DE VOIE de communication.	FORCE employée.	POIDS transporté.
Chemins de fer. . . .	1	250
Routes pavées. . . .	1	70
Routes empierrées :		
1° Parfaites.	1	50
2° Ordinaires. . . .	1	16

ARTICLE Ier.

CHEMINS DE FER.

Au point où en est arrivée la construction de ce genre de voie de communication, dont nous nous dispenserons d'énumérer les divers perfectionnements, nous dirons que :

Un chemin de fer, chaussée en fer, consiste en deux bandes de fer parallèles, dites *rails* (du mot anglais *rail*, qui veut dire barrière, garde-fous), régnant sur toute la longueur du chemin et supportées de distance en distance par des coussinets en fonte, appelés *chairs* (du mot anglais *chair*, qui veut dire chaise), reliés deux à deux, et opposés pour maintenir l'écartement des rails, par des traverses en bois de chêne qui leur servent en même temps de point d'appui sur le sol.

Les voitures qui circulent sur ce genre de chaussée ont les jantes de roues armées de rebords intérieurs (*fig.* 40, *Pl.* XXII) qui servent à les empêcher de sortir de la voie.

Suivant l'importance des chemins, ils ont une ou deux voies en fer.

Lorsque les chemins n'ont qu'une voie, on est dans l'usage de les munir de *gares d'évitement*, de distance en distance, tous les deux ou trois cents mètres. Ces gares sont des plates-formes auxiliaires (*fig.* 39, *Pl.* XXII) portant une longueur de rails suffisante pour contenir la totalité des voitures d'un convoi, pendant le passage d'un autre convoi sur la voie principale avec laquelle elle communique par les appareils intermédiaires que nous décrirons plus loin.

Lorsque plusieurs chemins de fer aboutissent à un même point, il est convenable que pendant toute la longueur commune à ces chemins de fer, il y ait au moins autant de voies plus une qu'il y a de lignes différentes. Ainsi, pour deux lignes, trois voies; trois lignes, quatre voies, et ainsi de suite; cela, afin que si la voie de départ peut être la même pour tous, chacune des lignes ait sa voie de retour indépendante, afin d'éviter la rencontre des convois aux points de croisement.

§ 1er. — CONSTRUCTION DES RAILS.

Les rails, primitivement construits en fer plat de champ, présentaient les inconvénients : 1° de s'aplatir supérieurement par suite du passage des roues chargées; 2° de couper la jante de ces roues; 3° de se désassembler constamment d'avec les coussinets auxquels le serrage seul de *coins* les retenait.

On dut donc renoncer à employer le fer dans cet état, et alors étudier une section de rails qui éviterait, sinon en totalité, du moins en grande partie, ces divers inconvénients, ce qui supposait la possibilité de les fabriquer au laminoir.

Depuis lors, beaucoup de formes ont été adoptées, et beaucoup le seront probablement encore, car bien qu'elles satisfassent à peu près toutes au but que l'on se propose, il est deux questions graves, le poids et la durée qui prédominent dans l'étude de la forme à donner aux rails, et qui font que l'on change sans cesse cette dernière dans l'espoir d'obtenir une économie, soit sur la dépense d'établissement, en diminuant l'un, soit sur l'entretien de la voie, en augmentant l'autre.

Le tableau suivant donne les poids des rails de différentes localités avec leurs différentes formes.

Tableau du poids de 1 mètre courant de divers rails.

DÉNOMINATION DES CHEMINS DE FER.	LONGUEUR DES CHEMINS.	POIDS DU MÈTRE COURANT DES RAILS.	OBSERVATIONS.
	kilomètres.		Planche XXIII.
Londres à Birmingham.	120	37 k. 000	Ancien (*fig.* 1).
Id. *id.*	*id.*	32 000	Nouveau (*fig.* 2).
Liverpool à Manchester.	50	17 000	Ancien (*fig.* 3).
Id. *id.*	*id.*	Inconnu.	Nouveau (*fig.* 4).
Saint-Pétersbourg à Paulosk..	»	*id.*	(*fig.* 5).
Paris à Saint-Germain..	19	30 000	(*fig.* 6).
Paris à Versailles (rive gauche).	16	»	Non exécuté (*fig.* 7).
Londres à Grenwich.	10	25 000	(*fig.* 8).
Berlin à Sun.	»	27 000	(*fig.* 9).
Berlin à Potzdam.	»	26 000	(*fig.* 10).
Saint-Etienne à Lyon..	59	13 000	Ancien (*fig.* 11).
Id. *id.*	*id.*	25 000	Nouveau (*fig.* 12).
Morris et Prevost.	»	28 000	(*fig.* 13).
West-Philadelphia.	»	25 000	(*fig.* 14).
Newcastle à Frenchtown.	»	22 000	(*fig.* 15).
Wilmington et Susquehanna.	»	20 000	(*fig.* 16).
Londres à Bristol	»	»	(*fig.* 17).
Villers-Coteret au Port-aux-Perches.	9	20 000	(*fig.* 18).
Epinac au Canal du Centre.	8	13 500	(*fig.* 19).
Le Creusot à Montchanin..	6	10 000	(*fig.* 20).

§ 2. — CONSTRUCTION DES COUSSINETS OU CHAIRS.

La forme des chairs varie nécessairement avec la forme des rails.

Néanmoins il est une forme générale de ces appareils qui est indépendante des rails; c'est celle du *patin* ou partie qui sert à le fixer sur le sol.

Les chairs ont été fixés sur le sol de deux manières bien distinctes, savoir :

1° Au moyen de deux clous en fer (*fig.* 21) scellés au soufre dans un dès en pierre affleurant le sol.

2° Au moyen de deux clous en fer, puis ensuite en bois (*fig.* 22), enfoncés dans des traverses en bois de chêne, reliant ainsi deux chairs opposés et maintenant l'écartement.

Depuis quelque temps, on a perfectionné encore le mode d'assemblage des chairs avec les traverses. Ce perfectionnement consiste à comprimer les chevilles d'assemblage, en chêne, au moyen de la presse hydraulique, de manière à leur donner un diamètre de 1/5 moins fort que celui qu'elles avaient auparavant; pour cela on les force à entrer dans un trou cylindrique en fonte ayant le diamètre demandé.

Il résulte de la fixation des chairs sur les traverses, par cette méthode, que tout dérangement devient impossible par suite du gonflement qu'opère l'humidité sur la cheville quand une fois la traverse est dans le sol.

L'assemblage des rails avec les chairs s'effectue au moyen de coins. Autrefois on employait des coins en fer (*fig.* 23), auxquels ont succédé les coins en bois, auxquels on vient d'appliquer, comme aux chevilles, la compression par la presse hydraulique.

Le poids des chairs et l'espacement des traverses varient suivant la section et la résistance des rails qu'ils supportent; en voici un tableau :

DÉNOMINATION des chemins de fer.	POIDS des chairs.	Espacement des traverses.
		mèt.
Paris à Saint-Germain.. . . .	4 k. 500	1.125
Saint-Étienne à Lyon.	4 000	1.150
Villers-Coteret au Port-aux-Perches	3 000	0.800
Epinac au Canal du Centre. . .	3 000	1.000
Le Creusot à Montchanin.. . .	2 500	0.800

§ 3. — APPAREILS POUR LA COMMUNICATION DES DIVERSES VOIES ENTRE ELLES.

Il existe trois modes principaux pour établir la communication entre deux ou plusieurs voies de chemins de fer, savoir :

1° Les aiguilles;
2° Les plaques tournantes;
3° Les planchers mobiles.

Les aiguilles (*fig.* 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37) s'emploient lorsqu'il est nécessaire de faire passer un convoi d'une voie sur une autre sans arrêter, ce qui a lieu dans les gares d'évitement, les sorties d'une voie de départ commune à plusieurs chemins de fer, la séparation des convois ayant même destination dans les gares (*fig.* 38) en A et B.

Les plaques tournantes (*fig.* 38) et les planchers mobiles s'emploient spécialement pour le changement de voie des voitures, lorsqu'on ne peut disposer que d'un petit espace, les aiguilles nécessitant toujours une grande longueur que l'on ne peut affecter à aucun dépôt de voitures.

En CCC, etc., sont des plaques tournantes.

Les planchers mobiles s'emploient en remplacement des plaques tournantes, toutes les fois que l'on peut perdre un espace réservé à la manœuvre d'un wagon servant de plancher mobile et roulant sur un chemin de fer placé à un étage infé-

rieur. Le plancher mobile s'emploie, avec avantage, lorsqu'il y a plusieurs voies parallèles et contiguës devant communiquer facilement les unes avec les autres, comme dans les gares de réserve de wagons, les ateliers de réparation de locomotives et voitures.

Dans ce cas, on fait une coupe transversale sur toute la largeur des voies contiguës, et on y creuse une tranche assez large pour que, un chemin de fer étant établi au fond, une plate-forme mobile, de la largeur de cette tranchée et de niveau avec elle, garnie de deux rails, puisse porter une des voitures que l'on veut changer de place.

Pour les détails de construction des chemins de fer, ainsi que d'entretien et de transport, nous renvoyons le lecteur à la deuxième édition du *Manuel du Constructeur de chemin de fer*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*, par M. Ed. *Biot*.

ARTICLE II.

CHAUSSÉES PAVÉES.

Les chaussées pavées ont de 5 à 8 mètres (15 pieds 4 pouces à 24 pieds 8 pouces) de large; 5 mètres (15 pieds 4 pouces), lorsque le croisement de deux voitures est suffisant; 7 mètres (21 pieds 6 pouces) pour trois voitures de front, et 8 mètres (24 pieds 8 pouces), quand il peut s'en présenter quatre, comme aux abords des grandes villes, sur des routes très-fréquentées.

Lorsque la route est peu fréquentée, les accotements sont suffisants pour porter momentanément l'une des voitures aux points de croisement; alors on donne à la chaussée 3 mètres (9 pieds 2 pouces) seulement de large, ce qui est suffisant pour une voiture.

Que dire aujourd'hui sur les pavés? Jamais, à aucune époque, on n'a fait autant d'essais sur les pavés qu'on en fait aujourd'hui: *pavés en grès*, *pavés en bois*, *pavés en terre cuite*, *pavés en matières vitrifiées*, *pavés quarrés*, *pavés longs*, *pavés bruts*, *pavés polis*, *pavés à sillon transversal*, *pavés à sillon à 45 degrés*, etc. Bien certainement dans dix ans d'ici on sera très-avancé sur cette question, et on pourra dire à coup sûr quelles sont la nature, la forme et la disposition de pavé qui :

coûte le moins d'entretien,
exige le moins de frais de traction,
maintient la voie la plus propre.

Mais aujourd'hui on ne peut que dire : examinez ce qui se fait à Paris, car jamais époque n'a été aussi favorable aux progrès de l'art du paveur.

Néanmoins, il est des principes reconnus dont il ne faut pas s'écarter, savoir :

1° Réunir les matériaux de même dureté pour les placer les uns à côté des autres, sans quoi il se forme des creux à l'endroit des pavés tendres, et alors non-seulement le pavé tendre est détruit, mais encore tous ceux qui l'entourent, par suite des chocs qu'ils reçoivent des roues de voitures qui passent sur le creux;

2° Donner une pente de un cinquantième pour les eaux;

3° Placer sur la lisière de la chaussée, de chaque côté, une bande de pavés rectangulaires, et d'une surface double environ des pavés ordinaires, de manière que le côté le plus long du rectangle soit alternativement longitudinal et transversal, par rapport à la route;

4° Relier les bordures ou lisières de la chaussée avec les accotements par un cailloutage ou un amas de débris de pavés, afin que les roues qui sortent de la chaussée ne tombent pas immédiatement sur de la terre, ce qui les exposerait, en hiver, à pénétrer dans le sol et à faire verser les voitures;

5° Etablir la chaussée, autant que possible, sur un sol incompressible et élastique. A cet effet, recouvrir le sol d'une couche de o.^{m}10 (4 pouces) à o.^{m}15 (6 pouces) de sable avant d'établir le pavé dessus.

Depuis quelque temps, on fait subir aux pavés tendres une préparation qui tend à les rendre aussi bons que des pavés durs. Cette préparation, dont l'invention est due à M. *Badon*, et qui se pratique aujourd'hui en grand, consiste à les plonger dans un bain de bitume bouillant, qui, pénétrant dans leurs pores, les rend inaccessibles à l'eau, cause de leur désaggrégation ultérieure.

Pour reconnaître les pavés durs d'avec les tendres, il suffit de les peser. En effet, la densité des pavés durs est de 2.54, tandis que celle des pavés tendres est 2.39.

De plus, les pavés durs n'absorbent que $\frac{1}{579}$ de leur volume d'eau, tandis que les pavés tendres en absorbent $\frac{1}{51}$.

Enfin, en frappant avec un marteau, le son des pavés durs

est beaucoup plus clair que celui des pavés tendres. Ce dernier moyen est le plus employé pour reconnaître la qualité des pavés.

ARTICLE III.

CHAUSSÉES EMPIERRÉES.

Elles sont de trois espèces, savoir :

1° Une couche de pierres *plates* au fond, surmontée de pierres *anguleuses*, à pointes en dessus; puis des pierres cassées médiocrement grosses; enfin, une couche de o.^{m}10 à o.^{m}12 (4 à 5 pouces) de pierres susceptibles de passer par un trou de o.^{m}06 à o.^{m}07 (2 pouces 3 lignes à 2 pouces 7 lignes) de côté;

2° Une couche de pierres *anguleuses*, la pointe en haut; au fond; par-dessus des pierres cassées comme ci-dessus;

3° Une couche de pierres cassées, d'une épaisseur égale à la hauteur totale de l'empierrement.

Dans les trois cas, le sol est creusé, sur toute la largeur de la chaussée, d'une profondeur égale à l'épaisseur de l'empierrement; cette épaisseur varie entre o.^{m}30 et o.^{m}40 (11 pouces à 1 pied 3 pouces), suivant le sol, la pierre et les voitures, pour les deux premiers systèmes; et de o.^{m}15 à o.^{m}20 (5 pouces 7 lignes à 7 pouces 5 lignes) pour le troisième.

De ces trois systèmes de chaussées, le troisième, qui est le plus simple, est aussi le meilleur; car, là, il y a partout élasticité, tandis que, dans les deux autres, les petites pierres s'écrasent contre les grosses.

Néanmoins, il ne faut pas rejeter complètement les deux autres systèmes, car ils sont nécessaires dans certains cas. Ainsi, quand le terrain est mou, le premier convient très-bien, parce qu'il lutte contre l'enfoncement de la chaussée dans le sol.

Remarquant que des pierres cassées laissent toujours entre elles des interstices, on a imaginé de remplir ces vides par du sable ou des matériaux granuleux.

On a trouvé que sur 1 mètre de gravier, il y a o.$^{m.c.}$38 de vide et o.$^{m.c.}$62 de plein; sur 1 mètre cube de pierres cassées, il y a o.$^{m.c.}$47 de vide, et o.$^{m.c.}$53 de plein, qui, après un roulage prolongé, se convertissent en :

o,$^{m.c.}$290 vide,
o,$^{m.c.}$710 plein.

Ces renseignements suffisent pour déterminer la quantité

de gravier à mettre sur un mètre cube, pour remplir autant que possible les interstices.

Dans l'intérêt des chaussées, il est bon non-seulement de leur donner une pente transversale de $^1/_{30}$ pour l'écoulement des eaux, mais encore de leur donner une pente longitudinale de un à deux centimètres par mètre, pour empêcher les eaux de séjourner sur les accotements ou dans les fossés.

Autrefois, on était dans l'usage de garnir la route d'arbres, et de creuser entre les arbres des fossés destinés à recueillir les eaux, c'est-à-dire les abandonner au sol.

Aujourd'hui, ce mode de construction est totalement changé. Les arbres sont bien conservés, parce qu'ils empêchent les alternatives de grande sécheresse et de grande humidité de se faire sentir trop fortement sur les routes, et guident les voyageurs pendant l'hiver; mais les fossés isolés ont été supprimés et remplacés par deux fossés régnant de chaque côté de la route, sur toute sa longueur, et allant, au moyen de la pente, déverser toutes les eaux que reçoit cette dernière, au point le plus bas, où elles sont reçues par un canal ou un ruisseau.

De cette manière, si la route doit subir des dégradations par suite de trop longues pluies, ce n'est jamais qu'en certains points déterminés, et non sur toute la surface, comme le fait avait lieu précédemment.

Nous renvoyons le lecteur, pour les détails de construction, au *Manuel des Ponts et Chaussées*, faisant partie de l'*Encyclopédie-Roret*, par M. de *Gayffier*.

LIVRE IV.

NAVIGATION.

La navigation, considérée comme moyen de transport sur le continent, se fait de deux manières, savoir :

1° Sur les cours d'eau naturels ;

2° Sur les cours d'eau artificiels.

Dans le premier cas, elle porte le nom de *navigation naturelle* ou *fluviale*.

Dans le second cas, elle porte le nom de *navigation artificielle*.

Les cours d'eau naturels portent l'un des trois noms : *ruisseau*, *rivière*, *fleuve*, suivant leur importance.

Les cours d'eau artificiels portent le nom de *canaux*.

On nomme *rivière canalisée*, une rivière que l'on a convertie en canal.

A part la différence qui existe entre les cours d'eau creusés par la nature et ceux creusés par la main des hommes, il y a, entre les rivières et les canaux, cette différence, que, dans les rivières, les eaux sont courantes, tandis que, dans les canaux, elle sont stagnantes. Il résulte de là que, dans le premier cas, la hauteur du niveau varie constamment, suivant l'abondance des pluies, tandis que, dans le second, la hauteur du niveau est constante, excepté dans quelques circonstances particulières que nous examinerons plus tard.

La navigation naturelle a lieu sur les rivières toutes les fois que leur profondeur est suffisante pour porter des bateaux. Dans le cas contraire, il faut construire un canal ou canaliser la rivière, si la hauteur de ses berges permet de retenir l'eau.

Les canaux sont, avons-nous dit, des cours d'eau stagnante ; par cette raison, leur pente est nulle, et la navigation se fait aussi facilement dans un sens que dans l'autre.

L'eau étant de niveau dans les canaux, et le sol n'offrant presque jamais cette disposition à sa surface, il faudrait, pour conserver le même niveau sur toute la longueur d'un canal, faire des tranchées ou des souterrains dans certains endroits, et des remblais quelquefois très-considérables dans d'autres,

Au lieu de cela, on a préféré composer un canal d'une série de *bassins* ou *biefs* ayant chacun leur niveau, et communiquant entre eux par des *écluses* ou des *plans inclinés*.

Les écluses sont des passages fermés servant de portes de communication entre deux biefs. On distingue deux espèces d'écluses :

Les écluses simples,
Les écluses à sas.

Une écluse simple (*Pl.* XXIII, *fig.* 39) est un passage AB établi entre deux biefs, sur une largeur égale seulement à celle d'un bateau, à parois verticales et composées de deux revêtements parallèles en bois ou en maçonnerie reliés par un radier.

La fermeture d'une écluse simple se fait de deux manières, savoir :

1° Au moyen de poutrelles superposées et passant dans deux coulisses opposées (*fig.* 39);

2° Au moyen d'une porte à deux battants (*fig.* 40), ouvrant extérieurement et dans le bief dans lequel le niveau est le plus elevé. Ces portes s'appuient l'une contre l'autre.

Lorsque l'on veut établir la communication entre les deux biefs, il faut, dans le premier cas, enlever les poutrelles une à une, jusqu'à la dernière ; dans le second cas, il suffit de ménager, à la partie inférieure des portes, des petites vannes que l'on soulève au moyen de crémaillères, ce qui est beaucoup plus expéditif.

Avec les écluses simples, il faut, à chaque passage de bateau, dépenser toute la quantité d'eau nécessaire pour mettre le bief inférieur au même niveau que le bief supérieur.

Or, cette disposition présente plusieurs graves inconvénients, savoir :

1° Le temps employé au passage des écluses est considérable ;

2° Il est très-rare que les sources d'eau qui alimentent le canal puissent suffire à une pareille consommation, pour peu que le service soit un peu actif;

3° Le nombre des écluses doit être très-considérable, si on ne veut pas avoir des différences de niveau très-grandes entre les biefs contigus, différences qui nécessitent un surcroît de construction, le bief inférieur devant pouvoir supporter l'eau à la même hauteur moyenne que le bief supérieur, et le bief supérieur devant être assez profond pour que les bateaux ne touchent pas le fond, lorsqu'il communique avec le bief inférieur.

Pour ces diverses raisons, on a à peu près renoncé aux écluses simples, qui ne s'établissent aujourd'hui que provisoirement, et on les a remplacées par les écluses à sas.

Une écluse à *sas* (*fig.* 41) se compose de deux écluses simples séparées par un bief aussi petit que possible, c'est-à-dire capable de contenir un bateau quand les portes sont fermées.

Ce bief porte le nom de sas et est représenté en plan par le rectangle ABCD. Sa forme diffère des autres biefs, en ce qu'il est toujours à parois verticales, ce, afin d'exiger le moins d'eau possible pour être plein.

Par cette disposition, pour faire passer un bateau du bief *m* dans le bief *n*, il suffit d'achever de remplir, au moyen du bief supérieur, le sas ABCD, qui est au niveau du bief inférieur.

La perte d'eau éprouvée par suite de ce remplissage est moindre que le volume représenté par le produit de la base du sas multiplié par la différence de niveau.

En effet, quand le niveau est établi entre le bief supérieur et le sas, on ouvre l'écluse supérieure, et on fait entrer le bateau dans ce dernier.

Alors, le bateau, qui occupe un certain volume dans l'eau, refoule, dans le bief supérieur, une portion de celle qui a été introduite dans le sas.

Dans la figure 41, nous avons supposé que les fermetures avaient lieu par des poutrelles; cette disposition est très-rare, c'est généralement par des portes qu'elles ont lieu.

Un canal peut être établi de deux manières :

1° Il peut être destiné à réunir deux rivières coulant dans deux vallées différentes; dans ce cas, il faut franchir le faîte qui sépare les deux vallées.

Le canal qui traverse ce faîte a un point intermédiaire plus élevé que tous les autres.

Les eaux qui l'alimentent doivent donc partir de ce point pour aller, de là, se déverser dans les deux rivières qu'il réunit. Dans ce cas, il porte le nom de canal *complet* ou *à point de partage*.

2° Il peut être construit dans une seule vallée pour réunir deux rivières affluentes. Dans ce cas, il porte le nom de canal *à un versant*.

Un canal à point de partage se compose, par conséquent, de deux canaux à un versant.

ARTICLE Ier.

ÉTUDES POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UN CANAL A POINT DE PARTAGE.

Pour qu'il y ait possibilité d'établir un canal à point de partage, il faut que les eaux qui s'accumulent dans la partie supérieure puissent suffire :

1° Aux pertes provenant de l'évaporation ;
2° Aux pertes provenant des filtrations ;
3° Aux pertes provenant du système de fermeture adopté pour les écluses ;
4° A la dépense nécessitée par le mouvement de la navigation ;
5° Au remplissage des biefs après les chômages annuels.

§ 1er. — ÉVAPORATION.

L'évaporation varie suivant les saisons: elle est plus grande au midi qu'au nord; elle est proportionnelle à la surface liquide en contact avec l'air; elle est en raison inverse des pluies.

A *Paris*, la quantité d'eau qui tombe dans une année peut former une couche de $0.^{m}50$ à $0.^{m}60$ (1 pied 6 pouces à 1 pied 10 pouces) d'épaisseur; tandis que l'évaporation représente une couche de $1.^{m}50$ (4 pieds 7 pouces) de haut, en moyenne.

A *Nantes*, la quantité d'eau qui tombe dans une année peut former une couche de $1.^{m}35$ (4 pieds 2 pouces) de haut; l'évaporation est sensiblement la même qu'à Paris.

Admettant $1.^{m}50$ (4 pieds 7 pouces) pour l'évaporation pendant 365 jours, on obtient pour un jour $\frac{1.50}{365} = 0.^{m}0041$, et pour 1 mètre quarré de surface $0.^{m}0041 \times 1.00.^{m.q.} = 0.^{m.c.}0041$, ou quatre litres et un dixième.

D'après ce, rien n'est plus facile que de calculer la quantité d'eau qui s'évaporera sur un canal dont on connaîtra d'avance la surface liquide exposée à l'air; il suffira de multiplier cette surface, exprimée en mètres, par $0.^{m.c.}0041$.

§ 2. — FILTRATIONS NATURELLES.

Les filtrations sont moins faciles à évaluer que l'évaporation,

en ce sens qu'elles varient singulièrement, suivant la nature et la disposition des terrains que le canal traverse.

Dans les sols formés de terre franche ou sable fin, les filtrations sont faibles, et peuvent être évaluées à 0.^{m}05 de haut par jour dans les premiers temps de la mise en activité du canal, et à 0.^{m}008 ou 0.^{m}01 au plus, au bout d'un certain temps.

Dans le gravier et le caillou, elles sont considérables. Dans le canal de Narbonne, elles furent de 2.^{m}00 par jour dans les premiers temps; au bout de vingt ans elles ne furent plus que de 0.^{m}80; aujourd'hui, c'est-à-dire après soixante ans, elles sont encore de 0.^{m}05 par jour.

Dans ce cas, il est indispensable de recouvrir le canal d'une couche imperméable.

Dans le rocher, les pertes sont nulles, s'il est bien régulier; mais, s'il est fendillé, les pertes sont incalculables; tout le bief y passe.

Ces pertes sont, du reste, assujéties à la hauteur des eaux souterraines. Si la nappe d'eau qui coule à l'intérieur du sol est plus haute que le niveau du canal, ce qui est rare, loin de lui enlever de l'eau, dans ce cas, elle lui en amène.

§ 3. — FILTRATIONS ARTIFICIELLES.

Les filtrations par les portes d'écluses sont assez considérables pour que l'on doive en tenir compte. Il y a des portes qui, quelque bien fermées qu'elles soient, perdent encore mille mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Ces pertes, heureusement, sont peu sensibles, en ce seus que l'eau n'est pas totalement perdue, surtout si le mouvement des bateaux est de haut en bas, c'est-à-dire du bief supérieur au bief inférieur; néanmoins, il en faut tenir compte dans l'établissement d'un canal. On peut admettre, en moyenne, une perte de cinq cents mètres cubes par vingt-quatre heures et par porte du bief supérieur.

§ 4. — DÉPENSE DE NAVIGATION.

On nomme *prisme de remplissage*, la quantité d'eau qu'il faut retirer au bief supérieur pour remplir le sas lors du passage d'un bateau.

Pour calculer la quantité d'eau à dépenser quand on veut faire traverser par un bateau un canal à point de partage, soit ABC (*fig.* 42) le nivellement du canal, et soit A le point de départ du bateau.

Appelons P le prisme d'eau nécessaire pour remplir le sas, abstraction faite du volume du bateau que nous appelons B.

Lorsque le bateau monte, chaque sas supérieur au bief dans lequel est le bateau étant supposé de niveau avec le bief supérieur, il commence par perdre son volume P; puis, le bateau, en y entrant, refoule encore vers le bief inférieur un volume d'eau B. L'écluse d'aval fermée, il faut que le bief supérieur donne P eau pour que le niveau du sas soit bien le même que le sien, puis encore B eau, quand le bateau est entré dans le bief, pour remplacer le volume que ce dernier occupait dans le sas.

Il suit de là, que pour faire monter le bateau, chaque bief déverse un volume P + B d'eau dans le bief immédiatement inférieur, ce qui fait une perte réelle de P + B eau, à la partie supérieure, quel que soit le nombre des écluses.

Lorsque le bateau est arrivé en B, l'inverse a lieu pour descendre, c'est-à-dire que, le sas étant d'abord rempli de la quantité P, lorsque le bateau y entre, une portion B est refoulée dans le bief supérieur, et alors la perte n'est que de P—B pour le bief supérieur. Le sas se déversant dans le bief inférieur, lui abandonne P eau; puis, quand il est ouvert, le bateau, entrant dans le bief, fait refouler B eau dans le sas, ce qui fait qu'en définitive le bief n'a reçu que P — B eau.

Au moyen de ce P — B, le bateau descend depuis le point B jusqu'au point C, et alors la perte d'eau pour son passage de A jusqu'à C est :

$$P + B + P - B = 2\ P$$

quel que soit le volume du bateau.

Lorsque la navigation est active, on peut s'arranger de manière que, pour chaque ouverture d'écluse, il y ait un bateau qui monte et un bateau qui descende, ce qui a lieu en n'ouvrant l'écluse sur le bief d'aval que quand il y a un bateau descendant dans le sas, et n'ouvrant de même l'écluse sur le bief d'amont que quand il y a un bateau montant dans le sas. Dans ce cas, la dépense étant de 2 P pour deux bateaux, n'est plus que de P pour un bateau.

§ 5. — CHÔMAGE.

Sur tous les canaux à point de partage, il faut, au milieu de l'année, à l'époque où les eaux sont rares, arrêter la navigation pendant un certain temps, faute d'eau.

Au bout de ce temps, il faut remplir les biefs de toute la quantité d'eau perdue pendant le temps du chômage. Cette

quantité peut s'évaluer facilement, sachant quelle est la perte totale par jour pour les trois causes : évaporation, filtration naturelle, filtration artificielle.

Connaissant la totalité des dépenses journalières, en eau, d'un canal à point de partage, il faut évaluer la quantité d'eau que le pays pourra fournir dans le bief supérieur.

Il est de toute nécessité, pour l'alimentation du canal, qu'il traverse le faîte en son point le plus bas;

1° Parce qu'on a le moins d'écluses possible à construire;

2° Parce que plus on recueille les eaux bas, plus l'étendue du terrain qui les fournit est considérable, et, par conséquent, plus elles sont abondantes.

Le choix de l'emplacement pour le bief de partage varie suivant la disposition des localités ; quelquefois il est nécessaire de faire une tranchée; d'autres fois, un souterrain est indispensable.

Suivant les rivières entre lesquelles ils établissent la communication, les canaux ont trois largeurs différentes provenant des dimensions des bateaux, qui sont assujéties à la profondeur du lit et à la force du courant de ces rivières.

Ces trois largeurs sont :

1° Pour les petits canaux, de 2.^{m}60 à 3.^{m}50 au fond ;

2° Pour les canaux moyens, 5.^{m}20 au *minimum* dans le bas, largeur égale à celle des écluses;

3° Pour les grands canaux, 6.^{m}50 *idem*.

Quelle que soit la largeur des bateaux, la section du canal doit être telle que deux bateaux puissent s'y croiser.

Si les bateaux ont 5.^{m}20 de large, on donne au canal 10 mètres au fond, avec un talus de 3 mètres de base sur 2 mètres de haut; en général, 2.^{m}50 de haut sur 3.^{m}75 de base.

Le tirant d'eau des bateaux ne dépassant pas généralement 1.^{m}30, on donne à l'eau 1.^{m}65 de profondeur *minima*.

Dans les canaux à petite section, la profondeur de l'eau varie entre 1.^{m}50 et 1.^{m}80.

On nomme *digues* d'un canal, la hauteur des terres depuis le fond du canal jusqu'en haut du remblais obtenu, sur les berges, par le creusement du lit. La largeur *a b* des digues (*fig.* 43), dans la partie supérieure, doit être d'au moins 2 mètres. Au pied extérieur *c* de la digue est une *banquette* surmontant un fossé par lequel s'écoulent les infiltrations du canal, ainsi que celles des sols voisins, dont la construction du canal a interrompu l'écoulement.

Dans la construction des canaux, lorsque l'on arrive à avoir des tranchées de 20 mètres de profondeur, il est préférable de faire un souterrain.

ARTICLE II.

TRACÉ ET CONSTRUCTION D'UN CANAL.

Le tracé d'un canal a quelque analogie avec celui des routes, en ce qu'il exige, comme pour ces dernières, un nivellement longitudinal et une série de nivellements transversaux. Ce travail exécuté, on détermine son axe de manière que les déblais soient égaux aux remblais nécessaires pour former les digues, le lit restant horizontal dans chaque bief.

A cet effet, connaissant les niveaux supérieur et inférieur, et par conséquent le nombre des écluses qu'il faut mettre, leur hauteur moyenne étant déterminée d'avance, on détermine la cote du lit de chaque bief, et on cherche sur les profils en travers les numéros qui correspondent à la cote du bief qui doit passer par chacun d'eux.

Le tracé une fois fait de cette manière, on recherche si tous les bateaux pourront passer librement, si les terrains à traverser sont considérables, s'il n'y a pas trop de déblais d'un côté et trop de remblais de l'autre, etc.

Lorsque l'on est forcé de traverser des terrains perméables, il y a deux espèces de travaux à exécuter :

Lorsque les terrains perméables sont composés en majorité de gravier, on y fait arriver des eaux bourbeuses ;

Lorsque les terrains sont plus perméables, on déblaie le sol à une profondeur plus grande que le canal, et on y dépose une couche de terre argileuse mêlée de sable de 50 centimètres à 1.^{m}50 d'épaisseur, suivant la nature du terrain.

Ces *corrois* en glaise présentent l'inconvénient de se fendiller par la sécheresse et de former tôt ou tard ce qu'on appelle *des renards;* c'est pourquoi depuis quelque temps on leur substitue une couche de béton de 10 à 12 centimètres, qui résiste très-bien.

ARTICLE III.

CONSTRUCTION DES ÉCLUSES.

Toutes les écluses d'aujourd'hui sont à sas et à portes.

§ 1er. — DISPOSITION.

Une écluse à sas se compose de trois parties, savoir :
L'écluse d'amont,
Le sas,
L'écluse d'aval.

On distingue dans l'écluse d'amont (*fig.* 44) les parties suivantes :

a, *a*, *murs de tête ;*
b, *b*, *murs de bajoyers ;*
c, *c*, *coulisses ;*
d, *d*, *musoirs ;*
e, *e*, *enclaves ;*
f, *chambre des portes d'amont ;*
g, *g*, *chardonnets ;*
h, *h*, *portes busquées ;*
i, *busc.*

Les murs de tête sont deux murs verticaux et transversaux destinés à fermer la portion en talus du canal.

Les murs de bajoyers sont deux murs longitudinaux, parallèles et verticaux, servant à maintenir les eaux dans l'espace compris entre eux et suffisant seulement pour le passage d'un bateau. Ils sont reliés aux murs de tête par les musoirs *d*, *d*, ou portion de murs en arc de cercle destinés à éviter la contraction de la veine fluide, comme aussi les avaries provenant des chocs des bateaux.

Les coulisses sont destinées à recevoir des poutrelles pour le cas où une réparation aux portes de l'écluse deviendrait nécessaire.

Les enclaves sont des retraites dans les murs de bajoyers, destinées à recevoir les portes quand elles sont ouvertes.

Les chardonnets sont les pierres sur lesquelles les portes exercent leur poussée.

Le busc est la portion de maçonnerie qui se trouve au changement de niveau et supporte une partie de la poussée des portes quand l'eau les charge.

L'écluse d'aval possède les mêmes parties que l'écluse d'amont, plus les *murs de fuites* *k k* qui sont un peu plus longs que les murs de bajoyers.

Les murs de tête d'aval sont aussi plus longs que ceux d'amont, par suite de la plus grande profondeur du bief.

Soient *ab* (*fig.* 45) la demi-largeur du sas, et *cd* l'épaisseur

du busc à la clef, c'est-à-dire entre le sas et le point de contact des portes. On fait $cd = \frac{1}{5}\, ab$. La hauteur ef du busc au-dessus du fond d'amont varie entre 25 et 30 centimètres pour les écluses au-dessous de 8 mètres de large.

Cette partie de l'écluse doit être construite très-solidement, soit en pierres de taille, soit en bois, si la pierre manque.

L'appareil du busc se fait de la manière suivante :

Soit o (*fig.* 46) le centre d'un arc de cercle tangent aux portes aux points de contact de ces dernières avec les chardonnets. On divise cet arc de cercle en un nombre impair de parties égales, et on mène les rayons qui forment les arêtes de joints des voussoirs dont la courbe d'extrados se trouve en dehors des portes sur le fond de la chambre de ces dernières. Comme il n'est pas nécessaire que les voussoirs se prolongent jusquà la ligne transversale cc', on les termine de ce côté par une maçonnerie en pierres de taille.

Quand les portes se ferment, elles frappent sur le busc ; il résulte des chocs qui ont lieu ainsi, à chaque fermeture, que si la porte se trouvait en contact immédiat avec la pierre, elle finirait par la détruire ; pour éviter cela, on garnit la partie saillante du busc, du côté de la porte, d'une poutre a appelée *faux busc* (*fig.* 47), fixée au moyen de boulons scellés dans la pierre ; de plus la porte se trouve à 10 cent. au-dessus du fond.

Les portes sont maintenues dans les chardonnets de la manière suivante :

A la partie inférieure des chardonnets (*fig.* 48) est une pierre portant une crapaudine sur laquelle porte chaque *battant de la porte*, soutenue dans la partie supérieure par un collier fixé au chardonnet.

Les chardonnets doivent être construits en pierres de première qualité.

§ 2. — ÉPAISSEURS DES MAÇONNERIES POUR RÉSISTER A LA POUSSÉE DES EAUX.

La poussée de l'eau contre une face verticale est celle d'un prisme ayant pour section un triangle rectangle isocèle abc (*fig.* 49) ; la pression sur la tranche ab est donc :

$$\frac{h^2}{2}$$

elle s'exerce au tiers de la hauteur, à partir de la base.

Soit x l'épaisseur du mur résistant à cette poussée, on a pour section du mur : Hx

Soient : π la densité de l'eau,

Π celle du mur.

on a : $$\frac{\pi h^2}{2} \times \frac{h}{3} = Hx \frac{x}{2} \Pi$$

En général, on fait $x = \frac{1}{2} h$ pour les murs de bajoyers ; on donne de 60 à 70 centimètres de largeur, et 40 centimètres d'épaisseur aux pierres qui forment le couronnement.

§ 3. — PRESSIONS SUR LES PORTES.

Soient ad (*fig.* 50) une porte, et P la pression sur cette porte.

On décompose P en deux forces égales et parallèles appliquées aux extrémités a et d. Ce qui a lieu pour une pression P sur l'un des battants a lieu sur l'autre. Il résulte de là qu'en d on a deux forces concourantes, dont la résultante x s'obtient en posant :

$$x : \frac{P}{2} :: 2\,db : dc$$

d'où : $$x = \frac{P \times db}{de}$$

Les deux triangles abc, ebd sont semblables, ce qui donne :

$$\frac{db}{de} = \frac{ab}{ac}$$

Faisons : $aa' = l$, largeur,
$bc = f$, flèche,

il vient : $$x = \frac{P \times ab}{ac} = \frac{Pl}{2 \times \sqrt{\overline{ab}^2 + \overline{bc}^2}}$$

Cette force se décompose en deux autres dirigées sur les murs de bajoyers en ac et $a'c$. Soit y une de ces forces égales, on a la proportion :

$$x : y :: 2f : ac$$

d'où : $$y = \frac{x\sqrt{\overline{ab}^2 + \overline{bc}^2}}{2f}$$

et enfin : $$y = \frac{P\,l}{4\,f}$$

pression sur les murs de bajoyers.

§ 4. — CONSTRUCTION DES PORTES.

Elles se composent (*fig.* 51) d'un châssis en pièces de bois équarries, recouvertes de madriers. De distance en distance, sur la hauteur, sont des entre-toises horizontales destinées à consolider la charpente et les madriers. Du point *a* au point *b* de la diagonale sont une série de morceaux de bois intercalés dans les entre-toises et se faisant suite les uns aux autres, surmontés d'une seule et même pièce, régnant sur toute leur longueur, que l'on nomme *bracon*. A la partie supérieure est une longue poutre, appelée *balancier*, chargée à son extrémité A, de manière à faire équilibre au poids de la porte et en rendre la pression sur le collier moins forte. Tous les joints des poutres sont maintenus par des équerres en fer.

La crapaudine inférieure se construit comme l'indique la figure 52.

Depuis quelques années, on supprime le balancier. Comme il était utile à la manœuvre des portes, on l'a remplacé par un appareil à engrenage, comme on peut le voir au canal Saint-Martin.

Les *ventelles* sont les petites vannes qu'on lève pour déverser les eaux du bief supérieur dans le bief inférieur. Elles sont manœuvrées, comme nous l'avons déjà dit, au moyen d'une crémaillère à engrenages.

ARTICLE IV.

OUVRAGES ACCESSOIRES.

Les constructions accessoires des canaux sont :

1° les prises d'eau,
2° les aqueducs d'écoulement,
3° les déversoirs,
4° les ponts,
5° les digues de barrage.

§ 1er. — PRISES D'EAU.

Les prises d'eau ont toutes lieu à l'endroit du bief de partage. On construit un pontceau derrière lequel est un déver-

soir donnant au canal une quantité constante d'eau par vingt-quatre heures. Cette quantité est réglée soit par des vannes placées aux digues des étangs qui servent à l'alimenter, soit par des poutrelles passant dans des coulisses, quand l'alimentation a lieu au moyen d'une rivière.

La construction de ce pontceau se fait de la manière suivante :

A est la rigole qui sert à alimenter le canal.

A' A' sont deux vannes de décharge pour le trop plein, allant rejeter les eaux de la rigole dans les fossés du canal.

B est le pontceau.

C est le bief de partage.

D est le déversoir.

§ 2. — AQUEDUCS.

Lorsque l'on veut réparer un canal, il faut quelquefois pouvoir faire écouler par-dessous les eaux qui servent à l'alimenter. Cela a lieu toutes les fois que le canal est perpendiculaire au lit de la rivière dont on a interrompu le cours pour le canal. Dans ce cas, on construit ces aqueducs avec murs en retour, de préférence aux murs en ailes, et on leur donne la forme représentée figures 53 et 54.

A est le canal et B l'aqueduc; on laisse, entre l'extrados de la voûte et le fond du canal, une épaisseur de 8 à 10 centimètres, en ayant soin de recouvrir la voûte d'une couche de béton surmontée d'une couche de mortier lissé.

§ 3. — DÉVERSOIRS.

Les déversoirs sont des ouvrages destinés à retenir les eaux jusqu'à un certain niveau, au-delà duquel elles s'écoulent.

Les premiers déversoirs ont été construits comme le représente la figure 55 ; mais ils furent bientôt détruits par les affouillements de l'eau à la partie inférieure d'aval. On les a alors remplacés par la section représentée *fig.* 56. On a aussi exécuté les déversoirs à siphon, qui avaient l'avantage de prévenir encore mieux les affouillements que les précédents, mais dont la construction entraînait certains inconvénients.

§ 4. — PONTS.

On distingue deux espèces de ponts pour les canaux :

1° les ponts-aqueducs;

2° les ponts de passage.

Les ponts-aqueducs s'emploient toutes les fois qu'un canal doit passer au-dessus d'une rivière ou d'un ravin profond. Alors, suivant la largeur de ces ponts, on a à résoudre, quant à leur construction, toutes les difficultés que nous avons examinées lors de la construction de ces dernières.

La largeur des ponts-aqueducs doit être telle que le bateau circulant dessus, ne déplace pas trop vite l'eau, ce qui aurait pour inconvénient de détruire les berges et aussi de produire des vibrations très-nuisibles.

On nomme *cunette*, la portion du canal supportée par le pont.

Outre la cunette, le pont-aqueduc doit encore contenir un terre-plein pour les chevaux, et un garde-fou.

La plus grande difficulté à résoudre dans l'établissement des ponts-aqueducs, c'est d'empêcher les filtrations qui ont lieu par les lézardes qui se manifestent toujours lors du tassement des voûtes. On a proposé successivement l'emploi de la fonte ou du mastic de bitume pour construire les cunettes; mais la fonte serait pire peut-être que le mortier, et le mastic de bitume est susceptible de se fendiller.

Les ponts de passage sur les canaux sont de deux espèces :

Les ponts fixes,

Les ponts mobiles.

Les ponts fixes se font en bois ou en maçonnerie, mais de préférence en maçonnerie, et constituent les ponceaux dont nous avons déjà étudié la construction.

Il faut avoir soin, pour ces ponts, de réserver toujours en-dessous un chemin de hallage de 1 à 2 mètres pour le service de la navigation. Rarement on les fait en plein-cintre; c'est presque toujours un arc de cercle dont la naissance est à 2 mètres au-dessus du chemin de hallage.

Les ponts mobiles s'emploient toutes les fois que le canal traverse une route presque au niveau du terrain naturel, comme cela a lieu au canal Saint-Martin, à Paris. On en distingue plusieurs espèces, savoir :

Les ponts-levis,

Les ponts tournants,

Les ponts à bascule,

Les ponts roulants.

Les *pont-levis* sont ceux dans lesquels le tablier se lève en tournant autour de l'un de ses côtés parallèles au canal comme axe.

Les *ponts tournants* sont ceux qui décrivent un quart de cercle autour d'un axe situé à une distance du mur du canal égale à la moitié de leur largeur, de manière à se loger tout entiers sur le sol pendant le passage du bateau.

Les *ponts à bascule*, comme leur nom l'indique, sont des ponts-levis à deux tabliers, de poids égaux, dont l'un est sur le canal et l'autre sur une fosse.

Les *ponts roulants* sont ceux dont le tablier est allongé en dehors du canal d'une quantité suffisante pour pouvoir porter en entier sur des rouleaux.

De ces quatre espèces de ponts, deux sont presque généralement employées, ce sont:

Les ponts-levis et les ponts tournants; aussi ne nous occuperons-nous que de la construction de ces ponts.

1° *Ponts-levis.*

Suivant la largeur du canal à traverser, ils sont de deux systèmes:

Ponts-levis à une volée,

Pont-levis à deux volées.

Dans les premiers, le tablier est d'une seule pièce et porte sur les deux berges opposées du canal.

Dans les seconds, il y a deux demi-tabliers qui se lèvent chacun d'un côté et viennent, en plans inclinés, se réunir sur le milieu du canal.

Quelque soit celui de ces deux systèmes que l'on adopte, la construction est la même.

Le tablier se compose d'une série de poutres longitudinales, par rapport à la route, parallèles et reliées entre elles, à leurs extrémités, par des moises. Ces poutres ou longerons sont recouverts de madriers d'une épaisseur de o.^{m}06 formant plancher inférieur, affleurant les moises supérieures; ce tout est recouvert d'un second tablier régnant sur toute la longueur, mais ayant les joints parallèles à ceux du plancher inférieur, c'est-à-dire transversaux.

Les figures 57, 58, 59, 60 représentent un pont-levis. Les tourillons du tablier sont maintenus par les montants A, au moyen d'un gond à charnière (*fig.* 58).

On appelle *flèche*, la pièce CD. On la charge, en C, d'un poids suffisant pour que la levée du pont n'exige d'autre travail que celui nécessaire pour vaincre les frottements.

La figure 60 indique la manière dont est maintenu son tourillon après le chapeau.

Pour que le système soit en équilibre pendant toute la manœuvre, il faut que :

1° Les quatre points $m n p q$ forment les sommets d'un parallélogramme ;

2° la ligne CG soit parallèle à mG', G, G' étant les centres de gravité des deux systèmes.

2° *Ponts tournants.*

Quand ils sont petits, on les supporte sur un seul pivot. Quand ils sont grands on les supporte sur un charriot à galets.

Ces ponts, qui sont les plus fréquemment employés, peuvent se construire de plusieurs manières différentes, et il n'y a pas, pour eux, de méthode fixe comme pour les autres. Les charriots à galets sont une fort bonne chose, mais ils coûtent cher et se détériorent facilement par suite de l'impossibilité dans laquelle on est de conserver aux galets les mêmes dimensions, et partant, de les faire marcher régulièrement.

On nomme *bascule*, la portion du pont située entre l'axe de rotation et la rive intérieure; on lui donne ordinairement les deux tiers de la *volée*, ou tablier du pont, entre l'axe de rotation et la rive opposée.

Pour soutenir la volée, on élève des colonnes sur les longerons extérieurs dans le plan passant par l'axe de rotation, perpendiculairement à la ligne de passage; on relie ensuite les parties supérieures de ces colonnes aux extrémités longitudinales du tablier, au moyen de hauts-bans en fer forgé, ce qui forme deux triangles adjacents.

Cette disposition, employée sur le canal Saint-Martin, est bonne pour des largeurs qui ne dépassent pas 5 mètres.

Les longerons, disposés sur trois étages, sont assemblés au moyen de triples moises dont les boulons sont passés en dehors, afin de ne pas affaiblir les pièces qu'elles relient; elles sont de plus entaillées légèrement aux points de contact, ainsi que les longerons, pour que le tablier ne prenne aucun mouvement.

Dans les ponts tournants, il faut, pour qu'un bateau puisse passer à l'aise, que la demi-largeur du pont soit moindre que la distance du pivot au mur du canal adjacent, cela, afin que, le pont étant ouvert, il n'y ait point de saillie autre que celle du mur.

La position du pivot, par rapport à l'axe de passage du pont, n'est pas constante.

Dans le cas précédent, elle est sur cet axe même, à une distance de la rive plus grande que la demi-largeur du pont.

Dans d'autres cas, elle est sur le bord du tablier, et alors il n'y a plus qu'un quart de charriot sous la bascule, portant sur une demi-circonférence placée sur le sol. Cette disposition existe au pont tournant de la Villette.

Les figures 61 et 62 (*Pl.* XXIII) représentent les deux positions de l'axe de rotation A.

§ 5. — ALIMENTATION DES CANAUX.

Lorsque l'on construit un canal, il est souvent nécessaire d'aller chercher les eaux d'alimentation en un point éloigné du bief de partage. Alors, pour amener ces eaux, on construit une rigole dont on calcule la section et la pente.

Si, par exemple, les eaux que l'on va chercher appartiennent à une rivière, il faut choisir le point de prise d'eau dans cette dernière, de manière que la rigole ait une pente suffisante pour l'écoulement convenable des eaux dans le canal, ce qui s'obtient en faisant un nivellement. Il faut, en outre, et c'est le principal, prendre pour direction de la rigole, le terrain dans lequel les déblais sont égaux aux remblais.

Il existe en France beaucoup de localités où les biefs de partage sont si élevés, que l'alimentation du canal par les cours d'eau voisins est insuffisante, ces derniers étant d'autant plus faibles qu'ils sont plus élevés aussi. Alors on fait des approvisionnements; on barre les vallées dans lesquelles passent les eaux que l'on veut recueillir et on les convertit ainsi en étangs plus ou moins vastes.

Le bief de partage du canal du Centre offre un exemple remarquable de ce genre d'alimentation. Outre une petite rivière qui le longe sur toute son étendue et dont les eaux sont retenues pour l'alimentation du canal, il y a dans les environs, jusqu'à une lieue et demie de distance, des étangs artificiels dont les rigoles viennent se réunir en un même point du bief de partage; l'un d'eux, l'étang de Torcy, est d'une dimension remarquable.

Pour barrer une vallée dont on veut recueillir les eaux, on fait une *digue* dont la partie inférieure est plus haute que le niveau de l'eau dans le canal, afin qu'on puisse non-seulement vider l'étang tout entier, mais encore donner une pente suffisante à l'écoulement de l'eau. On a soin, en outre, de construire cette digue dans la partie de la vallée qui offre le moins de largeur pour le mur de soutennement.

Il y a plusieurs manières de construire les digues :

1° En terre seule (*fig.* 63, *Pl.* XXIII), et alors on fait :

$$GB = h$$
$$EF = 0{,}3\ h$$
$$AB = 2{,}5\ h$$
$$CD = 1{,}8\ h$$

Ce genre de digue a l'inconvénient de filtrer les eaux et d'en perdre beaucoup.

2° Pour remédier aux filtrations, on a fait des digues en terre de mêmes dimensions, mais garnies intérieurement d'un corroi en terre pétrie et pilonnée par couches successives. Ce corroi a les dimensions proportionnelles suivantes :

$$h' = 0{,}80\ h$$
$$E'F' = {}^1/_2\ EF$$
$$A'B = CD' = {}^1/_2\ h'$$

3° Lorsqu'il y a une grande hauteur d'eau à soutenir, il arrive que dans les grands coups de vent, la masse d'eau oscille et tend à détruire la digue.

Pour remédier à cet inconvénient, on a revêtu le talus d'un perré du côté de la retenue. Mais les vagues, en battant sur le perré, ont fini par délayer les terres en-dessous et les entraîner, ce qui a détruit le perré.

4° Alors, pour éviter l'inconvénient des perrés d'une seule masse solidaire sur toute la hauteur, on a construit des perrés à redent (*fig.* 64).

5° Enfin, dans ces derniers temps, on a adopté la disposition représentée *fig.* 65, dans laquelle le perré à redent est remplacé par une série de petits murs étagés et reliés entre eux par un pavé.

6° Lorsque la hauteur des eaux dépasse 12 mètres, il est impossible de faire les digues en terre, et alors il faut les faire en maçonnerie, soit par moitié, comme dans la figure 66, soit en totalité, comme dans la figure 67.

Dans le premier cas, on a :

$$BD = h$$
$$CD = 0{,}3\ h$$
$$AB = 0{,}45\ h$$

Dans le second cas on a :

$$AB = 0{,}5\ h$$
$$CD = 0{,}33\ h$$
$$EF = 2 \text{ mètres.}$$

Les deux murs sont en talus.

Les digues, quel que soit leur mode d'éxécution, sont munies des constructions accessoires suivantes, savoir :

Un déversoir,

Une bonde de fond.

Le déversoir est indispensable pour empêcher les eaux de s'élever indéfiniment dans l'étang, et se construit de la manière représentée *fig*. 68. Il est composé d'une série de banquettes hautes de 4 mètres et recevant successivement les eaux de la banquette supérieure dans un refouillement dont le but est de faire faire matelas à l'eau qui y séjourne, quand celle du dessus se déverse.

La bonde de fond s'emploie tant pour donner de l'eau au canal, au fur et à mesure des besoins, que pour vider l'étang. Elle se compose d'un puits pratiqué dans la digue et venant communiquer avec une galerie en maçonnerie pratiquée à la partie inférieure, et formant la tête de la rigole. Cette galerie, de 60 centimètres de large et voûtée, a une hauteur qui varie entre 90 centimètres et 1.^{m}80. Elle est fermée par une vanne dont la queue est dans le puits et s'élève jusqu'en haut de la digue, où elle se manœuvre au moyen d'un cric. Cette vanne ne ferme pas complètement la galerie, ce qui rendrait sa manœuvre trop dure ; une partie est fermée par une paroi fixe (*fig*. 69).

ARTICLE V.

NAVIGATION SUR LES RIVIÈRES.

Il n'est pas une rivière qui n'oppose quelque obstacle à la navigation. Celui de tous qui se présente le plus fréquemment sur les rivières navigables, c'est l'abaissement du niveau des eaux. Pour y remédier, il n'y a d'autre moyen que de canaliser la rivière elle-même, comme cela a eu lieu pour l'Oise, et serait si avantageux pour la Seine, si les dépenses à faire n'étaient pas aussi considérables qu'elles le sont.

La canalisation des rivières navigables consiste dans l'établissement d'écluses à déversoir de distance en distance, aux points du lit les plus élevés, le barrage ayant l'avantage d'élever le niveau des eaux en ces endroits.

Le meilleur système d'écluses pour les rivières canalisées est celui des écluses à sas placé sur le bord de la rivière entre la rive et le barrage à déversoir AB (*fig*. 70). Ce dernier se trouvant en amont de l'écluse, l'eau ne presse contre le mur AC que quand le sas est plein.

Pour construire une écluse à déversoir, on commence par l'écluse. A cet effet, on établit un bâtardeau autour de l'endroit où elle sera placée ; ce bâtardeau est analogue à ceux employés pour la fondation des piles des ponts.

Suivant la vitesse de l'eau et la nature du terrain, on enfonce plus ou moins les pieux, et fonde à sec ou sur béton.

Les écluses pouvant être submergées par les hautes eaux, on a soin, quand une forte crue arrive, d'ouvrir les portes et de les fixer dans leurs enclaves, afin que les eaux s'écoulent librement et ne produisent pas d'envasement.

En général, les écluses en rivières n'ont par de murs de chute; on fait des cannelures dans les buscs, et les portes sont munies de vannes qui ferment ces cannelures. De cette manière, le gravier, charrié par l'eau, est entraîné quand on ouvre la vanne, ce qui permet à la porte de s'ouvrir facilement.

Les barrages se font de plusieurs manières, savoir :

1° En maçonnerie, ils sont à parois verticales comme celui que nous avons représenté *fig.* 55, ou à parois inclinées, comme celui représenté *fig.* 56.

2° Lorsque la rivière est sujette à de fortes crues d'eaux, si l'on veut éviter l'inondation des berges, on construit le barrage représenté *fig.* 71 :

AB est la face en amont,
CD est la face en aval.

Il se compose d'une série de piles en maçonnerie, munies de coulisses dans lesquelles sont des vannes ou des poutrelles; lorsque la crue arrive, on soulève les vannes ou lève les poutrelles, et l'eau passe dessous.

Il faut, pour ces barrages, que l'intervalle entre les piles soit plus large qu'un bateau.

Il existe, du reste, un grand nombre de fermetures des rivières pour les crues instantanées; ces diverses fermetures sont comprises sous la dénomination générale de barrages mobiles.

Quand les barrages sont submersibles, c'est-à-dire susceptibles d'être couverts par les eaux, on fait au-dessus une petite passerelle pour les hommes chargés de la manœuvre des vannes.

LIVRE V.

CONDUITES D'EAU DANS LES VILLES.

Pour établir des conduites d'eau dans les villes, on commence par amener l'eau à une hauteur suffisante pour dominer les points où elle doit être déversée; de plus, on détermine la quantité d'eau qui doit être dépensée. On consomme généralement en France, dans les villes, un pouce de fontainier par mille habitants, dans vingt-quatre heures.

Le pouce de fontainier est la quantité d'eau qui s'écoule par un orifice circulaire de un pouce (27 millim.) de diamètre sous une charge moyenne de 7 lignes (16 millim.), c'est-à-dire, une hauteur du niveau au-dessus du centre de l'orifice égale à 7 lignes (16 millim.).

Il s'écoule ainsi 19.$^{m.c.}$1953 d'eau par vingt-quatre heures, d'où on conclut qu'un habitant consomme, par vingt-quatre heures, 19 litres d'eau, en moyenne.

En Angleterre, la consommation de l'eau s'élève jusqu'à 90 litres par habitant et par jour.

Connaissant la quantité d'eau que l'on a à distribuer, il faut savoir si la source à laquelle on puise est capable de la produire.

Pour cela on procède au jaugeage.

§ 1er. — JAUGEAGE D'UNE PETITE SOURCE.

On fait arriver les eaux dans un bassin, sans avoir égard au niveau. On perce autour de ce bassin une série de trous égaux et tous à la même hauteur. On reçoit l'eau qui s'écoule de l'un d'eux pendant un temps déterminé; on réitère plusieurs fois la même opération, et dans différentes saisons, puis on prend le résultat moyen obtenu par l'écoulement de l'eau par cet orifice. S'il donne n litres d'eau par seconde, et s'il y a p trous, pn est le nombre de litres d'eau donnés par la source par seconde.

Le nombre et la grandeur des trous doivent être tels que l'eau qui s'écoule par eux soit d'un volume au moins égal à celui de l'eau qui s'écoule de la source. Généralement il vaut mieux les faire plus grands.

§ 2. — JAUGEAGE D'UNE SOURCE MOYENNE.

On barre le cours d'eau, si c'est un ruisseau. On pratique une fente (*fig.* 72, *Pl.* XXIII) longitudinale dans le barrage jusqu'à temps que le niveau reste constant, ce qui indique qu'il sort autant d'eau par cette fente qu'il en arrive. Alors, connaissant la hauteur du niveau au-dessus de cette fente et sa section, on a théoriquement (*fig.* 73) :

$ab = h$
$ac = l$
$de =$ H charge génératrice
$Q =$ volume
$v =$ vitesse.

$$v = \sqrt{2gH}$$

$$Q = vlh = lh\sqrt{2gH}$$

Si H et h (*fig.* 74) représentent les hauteurs des arêtes horizontales de l'orifice, on a la formule pratique :

$$Q = l \times 0{,}44\sqrt{2g}\left(H^{3/2} - h^{3/2}\right)$$

Un autre mode de jaugeage consiste à régulariser le cours d'eau sur une étendue suffisante, de manière qu'il ait partout sensiblement même section ; sur 30 mètres de long par exemple. On mesure la vitesse à la surface au moyen d'un flotteur.

La vitesse à la surface étant connue, on la multiplie par 0,8 et on a la vitesse moyenne.

La section multipliée par la vitesse dans une seconde de temps, donne le volume écoulé par seconde.

§ 3. — AQUEDUC.

Pour amener l'eau jusqu'au point où elle est puisée et élevée dans le réservoir, il faut établir un canal ou un aqueduc souterrain.

Appelons R le rapport entre la section d'écoulement S et le périmètre de cette section P (*fig.* 75), on a :

$$ab + bc + cd + ad = P$$

d'où : $$R = \frac{S}{P}$$

Or, on a trouvé par expérience :

$$RI = 0.000024265\ V + 0.000365543\ V^2$$

I étant la pente, c'est-à-dire $\frac{H}{L}$, le quotient de la hauteur par la longueur.

On se donne V et R quand on sait la quantité d'eau à écouler, et on en tire I.

Il faut faire en sorte que ce canal soit le moins long possible.

Il faut empêcher les eaux pluviales de venir se mêler aux eaux de l'aqueduc s'il est souterrain.

L'aqueduc d'Arcueil a 1.m80 de haut, 0.m50+0.m50 de large, moitié pour l'eau, moitié pour les hommes.

Un autre aqueduc (*fig.* 76) a les dimensions suivantes :

AB = 1.m40, CD = 0.m50, BD = 1.m50, EF = 2.m

Si l'on emploie des conduites en tuyaux, on dispose les joints des tuyaux qui sont à même la rivière, comme le représente la figure 77.

De cette manière, les deux portions de sphères peuvent se mouvoir l'une dans l'autre, et les tuyaux, par là, suivre les inclinaisons du lit de la rivière.

§ 4. — Élévation de l'eau.

Pour élever l'eau, on se sert de pompes aspirantes mues par une machine à vapeur, une roue hydraulique, ou des chevaux, suivant l'économie que présente chaque système, et la quantité d'eau à élever.

On peut amener l'eau à la pompe de deux manières :

1° En étendant le tuyau d'aspiration jusqu'à la rivière.

2° En faisant un aqueduc comme nous avons dit plus haut.

Le premier de ces moyens doit être rejeté dans tous les cas.

Soient h la hauteur du réservoir;

Q le poids de l'eau à élever par seconde;

Qh est égal au nombre de kilogrammètres à produire.

D'où : $\frac{Qh}{75} = n$ chevaux vapeur, théoriquement. Pratiquement, le travail à dépenser est plus considérable, comme on peut le voir à l'article qui traite des pompes (Mécanique).

Les frottements dans les conduites sont très-forts.

Toutes les fois qu'il y a un coude dans la conduite, il se produit un choc qui fait perdre à l'eau une quantité considérable de vitesse.

§ 5. — RÉSERVOIR ET CONDUITES.

La consommation de l'eau étant variable, il faut toujours avoir un réservoir.

Les dimensions du réservoir doivent être telles qu'il puisse contenir la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation de la ville pendant vingt-quatre heures. On en fait de plus grands.

Les eaux sorties du réservoir sont portées dans la ville par des conduites.

Il y a une conduite principale à laquelle s'adaptent des conduites de plus petit diamètre, lesquelles servent de conduites principales pour d'autres, et ainsi de suite, comme les branches d'un arbre. Les conduites d'où sort l'eau se nomment *branchements.*

Quand on a établi un aqueduc au lieu de conduite principale, la charge d'écoulement est la même dans tout l'aqueduc, ce qui est un avantage.

§ 6. — CALCUL DES SECTIONS DES CONDUITES.

La conduite principale conserve le même diamètre dans toute son étendue.

L'expérience a donné les résultats suivants :

Pour une conduite recevant de l'eau d'un réservoir par une extrémité, et la perdant par l'autre, en totalité :

$$\frac{1}{4} Dj = 0{,}0000173314\ V + 0{,}000.348259\ V^2$$

D = diamètre ;

j = inclinaison par mètre $\frac{h}{b}$;

V = vitesse d'écoulement ;

h = hauteur ;

b = base.

En résolvant par rapport à V, on arrive à :

$$V = C \sqrt{jD}$$

C étant un coëfficient variable.

Cette formule est plus exacte que la précédente. On a trouvé :

Pour V = 0,05 par ''	C = 19,17
0,10	21,95
0,20	23,97
0,30	24,83
0,40	25,26
0,50	25,56
1,00	26,18
2,00	26,47
∞	26,48

Quand V est inconnu, on met C = 25,26, et on calcule V correspondant ; alors, on obtient une autre valeur pour C, et ainsi de suite.

Supposons, par exemple, que l'on connaisse Q et *j*, et qu'on demande V et D :

on a : $\frac{\pi D^2}{4} C \sqrt{jD} = Q$; on tire de là la valeur de D, et on a par la formule :

$$V = C \sqrt{jD}$$

Or, voici ce que l'on fait pour le volume d'eau à dépenser :

$$Q = \text{volume.}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = C \sqrt{jD}$$

d'où : $$Q = \frac{\pi C}{4} \sqrt{jD^5} = C' \sqrt{jD^5}$$

On a calculé à part $C' = \frac{\pi C}{4}$, d'après les valeurs de C ci-dessus, et on a trouvé :

Pour V = 0,05	C' = 15,06
0,10	17,22
0,20	18,83
0,30	19,50
0,40	19,84
0,50	20,07
1,00	20,56
2,00	20,79
∞	21,04

On peut mettre la formule sous la forme :

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q^2}{j\,C'^2}}$$

Ayant la formule : $D = \sqrt[5]{\frac{Q^2}{j\,C'^2}}$

comme on connaît Q et j, il faut se donner C'.

Par exemple $C' = 20{,}07$ donnerait $V = 0.^m50$.

Or si, ayant calculé D, et de là V, par la formule $V = C \sqrt{j\,D} = 25{,}56 \sqrt{j\,D}$, on trouve pour V une valeur plus grande ou plus petite que $0.^m50$, il s'ensuit que l'on a pris C et C' trop grands ou trop petits.

Nous avons dit que j était l'inclinaison, c'est-à-dire $\frac{h}{b}$.

Proposons-nous de trouver quelle sera la charge qui produira l'écoulement au point a (*fig.* 78).

Appelons cette charge h'.

h' est plus petit que h. La perte de charge au point a est $h - h'$.

Au point a, si l'eau tombe par sa gravité :

$$V = k \sqrt{2\,g\,h'}$$

k étant le coefficient de contraction et de frottement de la veine fluide au sortir de l'orifice.

On a, dans le tuyau, au même point a :

$$V = C \sqrt{j\,D}$$

d'où :

$$C^2 j\,D = k^2\,2\,g\,h'$$

et : $h' = \frac{C^2}{k^2}\,\frac{j\,D}{2\,g}$, et comme $j = \frac{h}{b}$, $h' = \frac{C^2}{k^2}\,\frac{D}{2\,g\,b}\,h$

Théoriquement, il faudrait $h' = h$.

$\frac{C^2}{k^2}\,\frac{D}{2gb}$ est le coefficient variable suivant D, b, C.

Il est inutile de calculer h' pour les tuyaux.

Voici le cas général (*fig.* 79) :

Un réservoir d'eau a, pour hauteur génératrice de l'écoulement, H au point a. L'eau passe par une première conduite $ab = L$ dont l'inclinaison est $\frac{z}{L^h}$, et ensuite par une seconde conduite $bc = L'$ dont l'inclinaison est $\frac{z'}{L'^h}$, pour, de là, s'élever à une hauteur H' connue.

On demande les diamètres des tuyaux L et L'.

Pour cela, soit h la hauteur génératrice inconnue qui produit l'écoulement dans le tuyau L'.

Cette hauteur h est celle où s'élèverait l'eau dans la colonne h pendant son écoulement dans les tuyaux, hauteur qui serait égale à $H + z$, s'il y avait repos.

Imaginons un tuyau qui partirait de a' pour aller en b', ignorant d'ailleurs si b' et plus bas que a', on a :

$$Q = C' \sqrt{D^5 j}$$

Mais $$j = \frac{H + z - h}{L^h} = a'a''$$

donc : $$Q = C' \sqrt{\frac{D^5 H + z - h}{L^h}}$$

Equation à deux variables, qui, pour $h = H + z$ donne $D = \infty$; ce qui prouve de suite qu'il n'y a que sur un plan que l'eau ira de a' en b'. Mais pour $h = H + z$, $Q = o$.

Le parti pratique que l'on peut tirer de cela est que plus D sera grand, plus la charge au point b sera grande. Allons plus loin :

Il y a écoulement de b en c; si, comme plus haut, nous supposons un tuyau de b' en c', nous aurons :

$$Q = C' \sqrt{D'^5 \frac{h + z' - H'}{L'^h}}$$

Donc maintenant deux équations à trois inconnues D, D', h.

De même ici, pour $h = H' - z$, $D' = \infty$;
$Q = o$.

Mais h décroît à mesure que D' augmente, c'est-à-dire que plus le diamètre est grand, moins la charge génératrice a besoin de l'être.

Combinant ces deux équations :

$$Q^2 = C'^2 D^5 \frac{H + z - h}{L^h}$$

$$Q^2 = C'^2 D'^5 \frac{h + r' - H'}{L'^h}$$

il vient : $Q^2 L^h = C'^2 D^5 (H + z) - C'^2 D^5 h \; . \; . \; . \qquad D'^5$

$Q^2 L'^h = C'^2 D'^5 (z' - H') + C'^2 D'^5 h \qquad D^5$

d'où : $Q^2 (L'^h D^5 + L^h D'^5) = C'^2 D^5 D'^5 (z' + z - H' + H)$

équation symétrique par rapport à D et D'. On en tire :

$$D^5 = \frac{Q^2 L'^h}{C'^2 (z' + z - H' + H) - \frac{Q^2 L'^h}{D'^5}}$$

Plus D' augmente, plus D diminue, ce que nous savons déjà par les remarques suivantes :

Plus D augmente, plus h augmente.
Plus h augmente, plus D' diminue.
Donc, plus D augmente, plus D' diminue.

Comme ces deux diamètres ont des avantages qui se détruisent sans cesse, faisons-les égaux entre eux, ce qui est avantageux en pratique :

$$Q^2 D^5 (L^h + L'^h) = C'^2 D^{10} (z' + z - H' + H)$$

d'où :

$$D = \frac{Q^2 (L^h + L'^h)}{C'^2 (z' + z - H' + H)} \quad \text{et} \quad D = \sqrt{\frac{Q^2 (L^h + L'^h)}{C'^2 (z' + z - H' + H)}}$$

§ 7. — APPLICATION.

Un réservoir (*fig.* 80) est chargé de fournir de l'eau à des branchements fc, gd, he, par une conduite principale $bcde$.

Nous supposons qu'aux points f, g, h, il faille que l'eau s'élève de H', H'' et H''', afin de bien ressembler au cas précédent.

On a :

$$1^o \quad \ldots \quad Q = C' \sqrt{\frac{H + z - h}{L} D^5}$$

et :

$$q = C' \sqrt{\frac{h + y - H'}{l} d^5}$$

$$2^o \quad \ldots \quad Q - q = C' \sqrt{\frac{h + z' - h'}{L'} D'^5}$$

et :

$$q' = C' \sqrt{\frac{h' + y' - H''}{l'} d'^5}$$

$$3^o \quad \ldots \quad Q - q - q' = C' \sqrt{\frac{h' + z'' - h''}{L''} D''^5}$$

et :

$$q'' = C' \sqrt{\frac{h'' + y'' - H'''}{l''} d''^5}$$

Pour chaque deux équations, il y a trois inconnues h, D, d.

L'inconnue h peut être éliminée comme précédemment, et au lieu de six équations à neuf inconnues, il n'y aura plus que trois équations à six inconnues.

Nous n'aurons pas, comme dans le cas précédent, des valeurs symétriques pour D et d, parce que q n'est pas égal à Q.

D'autre part, pour la grande conduite, on n'aura pas non plus des valeurs symétriques pour D et D', car Q — q n'est pas égal à Q.

Le volume de l'eau se trouvant, en général, au numérateur de la valeur du diamètre, il s'ensuit que, quand ce volume diminue, le diamètre diminue. Mais comme trois inconnues sont arbitraires, faisons les différents diamètres D, D', D'', de la grande conduite, égaux entre eux, les valeurs des petits diamètres seront dépendantes d'un seul, et, d'après ce que nous avons dit plus haut : quand l'un augmente, l'autre diminue, il n'y a point de pertes (peu importe là que les valeurs soient symétriques, parce que l'un des diamètres est toujours au dénominateur), nous aurons trois équations à quatre inconnues.

Nous choisirons D, et nous en déduirons d, d', d''.

Pour obtenir des valeurs réelles de d, d', d'', nous pouvons, sans être obligé de réduire les six équations à trois, déterminer quelle est la valeur *minima* de D^5 d'après l'équation :

$$Q = C' \sqrt{\frac{H + z - h}{L} D^5}$$

laquelle a lieu pour le tuyau par où s'écoule la plus grande quantité d'eau, c'est-à-dire le premier.

Cette valeur *minima* doit être plus grande que celle que l'on obtiendrait pour D^5 en faisant $h = o$.

$h = H + z$ donne $D^5 = \infty$.

donc D est compris entre ∞ et $\frac{Q^2 L}{C'^2 (H + z)}$

Cette valeur de D étant la plus grande, satisfera aux autres tuyaux. Elle est au gré de l'ingénieur.

Il n'y a plus qu'à déterminer C', que l'on suppose connu.

Prenons $C' = 19{,}84$

Alors $V = 0{,}40$, et $C = 25{,}26$

Mais $V = 25{,}26 \sqrt{j D}$ . . . . (1)

j étant l'inclinaison du tuyau dans lequel on opère.

Ce qui fait conclure de suite que C' n'est pas le même pour les différents tuyaux.

j et D sont déterminés, puisque C' est donné.

On tire V de l'équation (1).

Cette valeur de V est plus petite, ou égale ou plus grande que 0,40. Si elle est égale, C' a été pris bon, et D est bien déterminé. Mais si V tiré de (1) est plus petit que 0,40, C a été pris trop petit ; alors, si on augmente c, on augmente 0,40 ; ces deux valeurs de V se poursuivent donc.

D'autre part, en examinant :

$$V = \frac{4 D}{\pi D^2}$$

on en déduit V.

Mais C'=19,84, qui a déterminé V, répond à V = 0,40. Il faut donc que V tiré de $\frac{4Q}{\pi D^2}$ soit égal à 0,40. S'il est plus petit, alors D est trop grand; donc C' est trop petit, car il fait partie du dénominateur de D. Alors 0,40 croît et les deux valeurs de V se poursuivent comme précédemment. Ceci est pour les tuyaux D, D'; car pour le grand tuyau on s'est donné D, et comme : $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$, on a C'.

Quand les tuyaux présentent des points culminants, l'air s'y accumule et empêche l'écoulement de l'eau.

On y adapte alors l'appareil représenté figure 81.

A est une boule creuse qui monte quand le vase est plein d'eau et ferme la soupape.

La déperdition par les coudes a été trouvée, pour un coude rectangulaire, égale à trois fois la hauteur de charge due à la vitesse.

Ainsi, si 4H est la charge génératrice de la vitesse pratique dans un tuyau longitudinal; après un coude à angle droit, la charge génératrice de l'écoulement n'est plus que H.

LIVRE VI.

PONTS.

Les ponts sont des constructions propres à établir la communication entre deux portions d'une route coupée par un ravin, un cours d'eau ou toute autre excavation naturelle.

On distingue trois espèces de ponts :

Les ponts fixes,
Les ponts mobiles,
Les ponts volants.

Les ponts fixes sont ceux qui se construisent pour rester éternellement dans la même position.

Les ponts mobiles sont ceux qui peuvent se déranger dans un sens quelconque, par suite des circonstances extérieures.

Les ponts volants sont ceux qui peuvent se transporter d'un lieu dans un autre.

Les ponts fixes se construisent en :

Pierre,
Fer,
Cordes,
Bois,

et s'établissent généralement sur des cours d'eau.

On nomme :

Passerelles, les ponts où les piétons seuls passent.

Ponts-viaducs, les ponts au-dessous desquels il ne passe pas d'eau.

Ponts-aqueducs, les ponts établissant la communication entre deux portions de canal.

Les ponts mobiles se construisent en :

Fer,
Bois,

et s'établissent généralement sur des canaux ou sur des fossés de fortifications.

Suivant le mode de changement de position qu'ils affectent, on distingue :

Les ponts levis,
Les ponts tournants,
Les ponts roulants,
Les ponts à bascule.

Les ponts volants se construisent en :
Fer,
Bois,
et s'emploient dans les armées, pour traverser de petites rivières.

Les uns sont en compartiments qui s'assemblent sur place; les autres se transportent tout assemblés et s'allongent au moyen d'un mécanisme.

CHAPITRE PREMIER.

PONTS FIXES.

Les ponts fixes se composent d'une ou plusieurs ouvertures appelées *arches* quand elles sont en pierre, et *travées* quand elles sont en bois.

Les arches sont séparées par des points d'appui appelés *piles* quand ils sont en pierre, et *palées* quand ils sont en bois.

Les appuis extrêmes se nomment *culées*.

Lorsque les ponts n'ont qu'une seule ouverture, on les nomme *ponceaux*.

Pour construire un pont, il y a plusieurs choses à examiner, savoir :
L'emplacement,
Le débouché,
La forme,
Le mode de construction.

ARTICLE Ier.

EMPLACEMENT.

Déterminé par deux portions de routes qui aboutissent chacune à une des rives du cours d'eau ou du ravin à traverser, le pont peut présenter des inconvénients à être exécuté dans la position que lui assigne cet état des choses.

Le principal inconvénient est qu'il peut se trouver incliné par rapport à la direction du courant de la rivière.

Alors, non-seulement il est plus long que s'il était perpendiculaire à ce courant, mais encore il est d'une construction difficile, si l'on veut que la direction de ses piles et culées soit la même que celle du courant, pour qu'il ne soit pas exposé à la poussée oblique de l'eau pendant les crues.

De plus, les rives, en cet endroit, peuvent être basses, et, par conséquent, peu favorables à l'établissement d'un pont sur un cours d'eau navigable; le sol peut être mauvais et nécessiter non-seulement des terrassements considérables, mais encore des constructions coûteuses et des travaux pénibles pour empêcher les infiltrations.

Il suit de là que, quelle que soit la direction des deux routes que l'on veut relier l'une à l'autre, on commence par choisir, dans le voisinage des ces routes, un emplacement favorable à la construction d'un pont.

Les ponts servent le plus souvent à remplacer les bacs. Or, les bacs sont des bateaux plats dont l'usage exige des rives très-basses, tandis que les ponts, au contraire, exigent des rives élevées. Il en résulte que jamais un pont ne prend la place du bac qu'il supplante, et que, par conséquent, il y a toujours déviation de la route quand on construit un pont.

La largeur des ponts varie suivant leur position. Dans les villes où la circulation est grande, on fait les ponts plus larges que dans les campagnes. Sur les grandes routes, on les fait aussi plus larges que sur les routes secondaires.

La moindre largeur que l'on puisse donner à un pont à plusieurs arches devant supporter des voitures, est 5 à 6 mètres. Les poutrelles et les ponceaux descendent jusqu'à 2 et 3 mètres.

ARTICLE II.

DÉBOUCHÉ.

On nomme débouché d'un pont, l'espace laissé entre les arches de ce pont pour l'écoulement des eaux du cours d'eau qu'il traverse.

Lorsqu'on établit un pont sur une grande rivière, la détermination du débouché du pont est de la plus haute importance.

Si l'eau est trop resserrée, elle affouille les piles et amène la chute du pont. Si le pont est trop large, la dépense est plus considérable; de plus, il se forme des atterrissements à la suite

des crues en amont ou sous les arches, surtout lorsque le sol est mobile. S'il arrive ensuite une sécheresse qui permette le contact de l'air à ces dépôts toujours un peu marneux, la végétation s'en empare et leur communique une stabilité suffisante pour résister plus tard à la vitesse de l'eau sous l'influence de laquelle ils se sont formés. Alors, le courant se trouvant gêné, prend une direction oblique sur les piles et amène quelquefois la chute du pont.

Pour déterminer le débouché d'un pont, on prend :

1° Un levé exact de l'emplacement du pont et du cours de la rivière sur une longueur de deux ou trois cents mètres de part et d'autre du pont;

2° Un levé des profils de la rivière, tant dans l'emplacement du pont qu'en amont et en aval;

3° Un nivellement en long de la rivière, afin de déterminer exactement sa pente.

De tout cela, on déduit un profil moyen et une inclinaison moyenne, et par conséquent le volume d'eau qui s'écoule par seconde.

Une méthode plus exacte pour déterminer le volume écoulé, consiste à mesurer la vitesse moyenne de la surface par un flotteur; sachant que si *u* est la vitesse moyenne du courant et *v* celle à la surface, on a, dans les cas ordinaires où *v* est compris entre 0.m30 et 1.m30,

$$u = {}^4/_5\, v$$

et dans les autres cas, d'après M. de Prony :

$$u = v\,\frac{v - {}^4/_5\, 2.732}{v + 3,153}$$

d'où on déduit :

$$\frac{u}{v} = \frac{v - {}^4/_5\, 2.732}{v + 3,153}$$

et pour $v = 0.^{m}00$ . . . $\frac{u}{v} = 0,723$

0	50	0,786
1	00	0,812
1	50	0,832
2	00	0,848
2	50	0,862
3	00	0,873

Si la rivière n'est point encaissée à l'époque des crues, il faut faire des observations tant dans le lit ordinaire que dans la plaine inondée.

S'il y a déjà d'autres ponts établis sur la rivière, il est utile d'examiner le débouché de ces ponts, et s'informer de leur suffisance ainsi que des affluents, tant pour ces ponts que pour ceux à construire.

Il faut avoir égard à la résistance du sol sur lequel le lit du fleuve est creusé; ce qui nécessite une connaissance préalable de la résistance des différents sols que l'on trouvera dans le tableau ci-dessous :

Résistance des sols aux différentes vitesses de l'eau.

NATURE DU SOL.	Vitesse de l'eau qui l'entraîne par seconde.	*Observations.*
Argile tendre. . . .	0.m153	Résiste le moins.
Sable.	0 305	Commence à se déplacer.
Gravier..	0 600	
Pierres cassées et silex argileux.	1 220	
Cailloux agglomérés et schistes tendres.. .	1 520	
Roches tendres. . .	1 800	
Roches calcaires. . .	3 000	

D'après cela, il est indispensable de connaître la vitesse que l'eau pourra prendre sous le pont, d'après son débouché.

Pour calculer cette dernière, soient :

S, la section du lit à l'endroit du pont avant sa construction;
S', la section du lit après la construction;
v, la vitesse de l'eau avant que le pont fût construit;
v', la vitesse de l'eau sous le pont;
h, la profondeur du courant sous le pont;
l, la largeur du lit avant le pont;
l', la largeur du débouché après;
m, le coefficient de contraction provenant de l'écoulement de l'eau entre les arches, variant entre 0,85 et 0,95.

On a théoriquement :

$$S \times v = m\, S'\, v'$$

d'où :
$$v' = \frac{S\, v}{m\, S'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Soit H la hauteur d'eau génératrice de la vitesse v, on a :

$$H = \frac{v^2}{2\, g}$$

Soit H' la hauteur d'eau génératrice de la vitesse v', on a :

$$H' = \frac{v'^2}{2\, g}$$

Soit x le *remous*, c'est-à-dire la différence entre le niveau de la rivière, à la place du pont, avant et après la construction de ce dernier, on a :

$$x = H' - H.$$

En admettant que la section d'écoulement, après la construction du pont, est plus grande que celle d'avant.

De l'équation (1), on tire :

$$v'^2 = \frac{S^2\, v^2}{m^2\, S'^2}$$

et
$$H' = \frac{S^2\, v^2}{2\, g\, m^2\, S'^2}$$

d'où :
$$x = \frac{v^2}{2\, g}\left(\frac{S^2}{m^2\, S'^2} - 1\right) \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

On a trouvé par expérience :

$$S' = l'\,(h + {}^5/_7\, x)$$

Remplaçant S' par cette valeur dans l'équation (2), et S par $l\,h$, il vient :

$$x = \frac{v^2}{2\, g}\left(\frac{l^2\, h^2}{m^2\, l'^2\,(h + {}^5/_7\, x)^2} - 1\right) \ldots \quad (3)$$

En effectuant les calculs indiqués et ordonnant par rapport à x, on obtient une équation du troisième degré contenant son second terme, et par conséquent très-longue à résoudre.

Pour éviter cette résolution, on fait diverses hypothèses sur la valeur de x au dénominateur, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à une valeur de cette inconnue égale à celle qu'on lui a supposée.

Connaissant x, on détermine H' par la formule :

$$H' = H + x$$

puis v' par la formule :

$$v' = m\sqrt{2\,g\,H'}$$

Connaissant v' pour une largeur l' du pont, on regarde, sur la table que nous avons donnée précédemment, si cette vitesse n'est pas susceptible d'affouiller le sol. Dans le cas où on pourrait avoir à craindre cet effet, on augmente l', ou on construit les fondations de manière à n'avoir pas à en redouter les conséquences.

ARTICLE III.

FORMES.

§ 1er. PONTCEAUX.

Quels que soient les matériaux employés à la construction des voûtes des ponceaux, ils ont toujours les culées en pierre.

Quand ils sont petits, on recouvre le vide au moyen d'une pierre qui s'appuie sur les culées ou pieds-droits. Lorsqu'on fait une voûte sur un petit ponceau, on ne la fait pas en plein-cintre, parce qu'il faut que les pierres des voussoirs aient au moins 0.m12 d'épaisseur. On met un arc de cercle.

Si le ponceau est grand, on a le choix entre l'arc de cercle, le plein-cintre et la courbe à trois centres. La terminaison des faces latérales et de la partie supérieure des ponceaux varie suivant la forme des murs auxquels ils se relient.

Si le ponceau doit être plus élevé que la route qui le traverse, à cause des crues d'eau, on lui donne une pente de chaque côté, de manière à lui faire former le dos d'âne.

On donne le nom de *murs en retour d'équerre*, aux murs construits perpendiculairement aux faces latérales du mur. Cette disposition a lieu lorsque le canal sur lequel est établi le ponceau, est encaissé entre deux quais.

On donne le nom de *murs en ailes*, aux murs construits en prolongement des culées pour soutenir les terres de la route qui aboutit au pont, sur une largeur plus grande que ce dernier.

Les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (*Pl.* XXIV) représentent :

Fig. 1, 2, 3, 4, un ponceau avec murs en ailes ;

Fig. 5, 6, 7, un ponceau avec murs en retour.

Nous étudierons plus loin le mode de construction de ces deux ponceaux.

§ 2. — PONTS EN GÉNÉRAL.

1° *Piles*. On a fait un grand nombre d'expériences sur la forme à donner aux piles. La section des piles des anciens ponts est un rectangle très-allongé et terminé par deux triangles qui, en amont, ont l'avantage de présenter une arête verticale de prisme destinée à fendre l'eau.

Mais on a remarqué que cette terminaison des piles, tant en amont qu'en aval, présentait l'inconvénient d'exposer les ponts à une prompte détérioration en ces points, par suite de leur peu de résistance aux chocs soit des bateaux, soit bien plus encore des glaces, dans les débâcles.

La terminaison quarrée, qui, tout en donnant lieu à un violent remous, présente encore aux glaçons des arêtes attaquables, ne vaut pas mieux.

On a trouvé que la forme elliptique très-allongée était la plus convenable pour l'écoulement de l'eau, à *l'avant-bec;* mais on a préféré la forme circulaire tant pour la résistance aux glaces que pour l'élégance.

La forme de *l'arrière-bec* étant à peu près arbitraire, on l'a choisie la même que celle de l'avant-bec, la terminaison rectangulaire ayant l'inconvénient de favoriser la formation de tourbillons.

Ainsi, aujourd'hui, la section des piles est un rectangle allongé terminé par deux demi-circonférences.

2° *Arches*. La question à résoudre pour les arches est la suivante :

Y a-t-il plus d'économie à construire les arches grandes qu'à les construire petites?

Lorsque l'on examine les anciens ponts, on remarque qu'ils sont tous construits avec de grandes arches. Cela tient non pas à l'élégance que l'on voulait donner aux ponts, comme on pourrait le croire, mais à la difficulté que l'on éprouvait à établir des piles au milieu des cours d'eau.

Un fait certain, c'est que l'exécution des grandes arches exige beaucoup plus de frais que les petites, à cause de l'épaisseur plus considérable qu'il leur faut donner et des constructions accessoires qu'il faut faire.

Il est certaines rivières où la largeur des arches doit être le plus grand possible; ce sont celles dont le courant est impétueux, la profondeur du lit très-grande et le fond mobile. Alors la construction des piles devient si coûteuse, qu'il y a avantage à faire de grandes arches.

Quand la rivière n'a pas une forte navigation, il faut, en général, accroître le nombre des piles et faire de petites arches.

Quand un pont est composé de plusieurs arches, on fait ces dernières toutes égales, et quelquefois celle du milieu plus grande que les autres.

Lorsqu'on peut faire toutes les arches égales, sans nuire à la navigation, il est toujours préférable de le faire, parce que, non-seulement les frais de construction sont moindres, mais encore le pont y gagne sous le rapport de l'élégance.

Tout en faisant les arches égales, il arrive que l'on est obligé de surhausser l'arche du milieu seule, ou de diviser le plan des naissances en deux plans inclinés se rencontrant sur l'axe de l'arche du milieu. Cela a lieu, comme au *pont du Carrousel*, toutes les fois qu'il n'y a pas possibilité d'élever assez les abords du pont pour donner à toutes les arches la même hauteur que celle exigée, par la navigation, pour l'arche du milieu. La pente des plans des naissances ne dépasse jamais, dans ce cas, trois centimètres par mètre.

La forme des voûtes varie suivant la hauteur que l'on peut leur donner; cette hauteur est déterminée par celle des abords par rapport aux eaux.

Après le plein-cintre, comme aux vieux ponts de Paris, on a l'arc de cercle, comme au *pont d'Iéna*, et les courbes à plusieurs centres, comme au *pont de Neuilly*.

Nous avons donné le tracé de la courbe à trois centres, dite *anse de panier*. Il en existe à 5, 7, 9, 11, etc. centres dont la construction est analogue, en ce sens qu'au lieu de prendre, pour côté du polygone inscrit dans le cercle, le côté de l'hexagone régulier inscrit, on prend le côté du décagone pour cinq centres, celui du polygone de quatorze côtés pour sept centres, etc.

La courbe des voûtes du pont de Neuilly est à onze centres. Sa construction diffère de celle des autres, et nous la donnons.

Soient AC (*fig.* 23, *Pl.* XXIV) le grand axe de la voûte, et AB le petit axe non déterminé de longueur.

On prend sur AC un point E arbitraire; puis on partage la distance AE en *quinze* parties égales.

Cela fait, on prend :

EF = 1 de ces parties.
FG = 2EF
GH = 3EF
HI = 4EF
IA = 5EF

Total. 15EF

On prend ensuite sur l'axe AB, en dessous du point A, AB'= 3AC, et on le divise en cinq parties égales B'*m*, *mn*, *no*, *op*, *p*A.

On mène les droites *p*E, *o*F, *n*G, *m*H, B'I que l'on prolonge suffisamment en dessus de AC.

Les points de rencontre E', E'', E''', E^{iv} de ces droites entre elles forment, avec les points E et B', les six centres de la demi-courbe *c c' c'' c''' c^{iv} c^{v}* B.

Lorsque les voûtes sont cintrées, on les évide quelquefois sur les faces au moyen d'arcs de cercle, pour faciliter l'écoulement des hautes eaux. Le pont de Neuilly offre un exemple de ce fait.

L'appareil des voûtes de pont se fait comme celui des voûtes ordinaires, en faisant concourir les arêtes des plans de joints vers le centre de l'arc dont elles font partie.

Quand on le peut, on raccorde les parties supérieures des voussoirs avec les assises horizontales.

Les ponts se terminent toujours par des murs en prolongement jusqu'aux limites transversales de la route, après quoi on ajoute un mur en retour d'équerre parallèle aux faces longitudinales du pont, muni, comme ce dernier, d'un parapet terminé par un dé de chaque côté.

ARTICLE IV.

CONSTRUCTION.

§ 1er. — CONSTRUCTION DES PONTCEAUX.

On les fait en maçonnerie ou en bois. En général, il convient de faire les culées en maçonnerie.

On nomme *tablier*, la couverture des ponts en bois.

Lorsque l'on a à construire un ponceau, on peut se de-

mander s'il sera plus économique de construire le tablier en maçonnerie ou en bois. Alors il faut établir une comparaison entre les prix de revient de l'établissement du ponceau; dans les deux cas, les prix d'entretien et la durée.

On fait alors le cube de la voûte en maçonnerie du ponceau en pierre, et celui des poutres qui entrent dans la construction de la travée du ponceau en bois.

Ces poutres s'établissent de la manière suivante :

On met d'abord des semelles dont les extrémités portent sur les culées. Ces semelles supportent des poutres transversales sur lesquelles est établi un plancher dit *tablier du pont*. On munit ensuite le tablier de garde-fous. Tout ceci est approximatif et varie suivant la largeur du ponceau.

Un pont en pierre est supposé susceptible de durer 100 ans.
Un pont en bois est supposé susceptible de durer 20 ans.

On a pour dépense du pont en pierre :

Dépense d'établissement . . . . . . D

Entretien annuel (évalué). . . . . . $\frac{D}{100}$

Capital de cet entretien. . . . . . $20\,\frac{D}{100}$

De plus, il faut une somme qui, placée à intérêts composés, rapporte, au bout de 100 ans, de quoi reconstruire un nouveau pont, et ainsi de suite.

Or, un capital placé à intérêts composés devient, au bout de 100 ans, à 5 p. 100, 132 fois ce qu'il était primitivement.

Soit x le capital pour la première centaine d'années, il sera le même pour la seconde, et on aura :

$$132\,x = D + x$$

d'où :

$$x = \frac{D}{131}$$

Pour le pont en charpente, on a :

Etablissement. . . . . D'

Réparation annuelle. . . . . $\frac{D'}{10}$

Capital de la réparation. . . . . $20\ \frac{D'}{10}$

Capital pour la reconstruction indéfinie, à 5 p. 100, x'.

On obtient x' en remarquant qu'un capital placé à intérêts composés devient, au bout de 20 ans, égal à 2.65 fois le capital primitif, alors on a :

$$2.65\ x' = D' + x'$$

et :

$$x' = \frac{D'}{1.65}$$

Pour qu'il y ait égalité d'avantages à construire le pontceau en pierres ou en bois, il faut que l'on ait :

$$D + 20\ \frac{D}{100} + \frac{D}{131} = D' + \frac{20\ D'}{10} + \frac{D'}{1.65}$$

c'est-à-dire : $D \times 1.208 = D' \times 3.60$

et enfin : $D = 3\ D'$

La dépense d'exécution du pont en bois ne devra pas dépasser le tiers de celle du pont en maçonnerie.

Dans le cas où elle dépasserait ce chiffre, il y aurait plus d'avantage à construire en maçonnerie.

Construction d'un pontceau avec murs en retour.

Dans le cas où le mur est en pierres brutes avec arêtes en pierres de taille, on place une assise de pierres de taille à la hauteur des naissances.

Les voussoirs sont tous égaux d'épaisseur et se raccordent, autant que possible (*fig.* 5, 6, 7, *Pl.* XXIV), avec les assises horizontales des faces, dans le cas où ces dernières sont en pierres de taille.

Avec murs en ailes.

Dans ce cas, on fait l'épure représentée (*fig.* 1, 2, 3, 4, *Pl.* XXIV), dans laquelle on s'est donné l'inclinaison du mur en aile et son ouverture *maxima*, qui est celle du canal sur lequel le pont est établi.

Les plans de joint des pierres supérieures, dans le mur en aile, doivent être perpendiculaires partout à la surface du mur.

§ 2. — CONSTRUCTION DES PONTS EN PIERRE, CALCULS SUR LA POUSSÉE DES CULÉES.

Soit ABCDE (*fig.* 8) une voûte en plein-cintre. Si on la

charge à la clef sans charger les reins, elle se fend en cinq points A, B, C, D, E, dont trois, A, C, E, ouvrant intérieurement, et deux, B, D, ouvrant extérieurement.

Supposons que la voûte se compose seulement de quatre voussoirs AB, BC, CD, DE, et joignons AB et BC (*fig.* 9) par des lignes droites.

Soient g et g' les centres de gravité des deux voussoirs contigus, P et Q leurs poids dont les directions rencontrent AB en b, et BC en a.

P appliqué au point a se décompose en deux forces appliquées l'une en B, l'autre en C.

Q appliqué en b se décompose de même en deux forces, l'une en A, l'autre en B.

Par le point B, je mène l'horizontale Bd et je fais :

$$Bd = x \qquad Cd = y$$
$$Bc = \varphi$$

Par le point B je mène aussi la verticale BF, et je fais :

$$Af = x' \qquad BF = y'$$
$$AE = \varphi'$$

On a pour composantes de P :

En C . . . . $\dfrac{P\varphi}{x}$

En B . . . . $\dfrac{P(x-\varphi)}{x}$

On a pour composantes de Q :

En A . . . . $\dfrac{Q(x'-\varphi')}{x'}$

En B . . . . $\dfrac{Q\varphi'}{x'}$

Les mêmes choses ont lieu de l'autre côté, et alors on a :

Charge au point C . . . $= \dfrac{2P\varphi}{x}$

Charge au point B . . . $= \dfrac{Q\varphi'}{x'} + \dfrac{P(x-\varphi)}{x}$

$$\text{Charge au point A} \ldots = \frac{Q\,(x' - \varphi')}{x'}$$

Si l'on considère le point C à part (*fig.* 10) et les lignes CB, CD, la force appliquée en C se décompose en deux autres égales entre elles X, X, et dirigées suivant CB et CD, ayant pour valeur, d'après le parallélogramme des forces :

$$X = \frac{2\,P\varphi}{x} \times \frac{BO}{CO}$$

Or :

$$BO = \sqrt{\overline{Bd}^2 + \overline{dC}^2} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$CO = 2y$$

donc :

$$X = \frac{2\,P\varphi}{x} \times \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{2y}$$

X, appliquée au point B, se décompose en deux forces X', X'', l'une horizontale et l'autre verticale, lesquelles sont à X comme les côtés de l'angle droit du triangle BCD sont à l'hypothénuse ; on a donc :

$$X' : X :: Cd : BC :: y : \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$X'' : X :: Bd : BC :: x : \sqrt{x^2 + y^2}$$

donc :

$$X' = \frac{X\,y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{P\varphi}{x}.$$

$$X'' = \frac{X\,x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{P\varphi}{y}.$$

Les forces appliquées en B sont donc :

$$1^{o}\ \text{Verticale} \ldots = \frac{Q\varphi'}{x'} + \frac{P\,(x - \varphi)}{x} + \frac{P\varphi}{x}$$

$$= \frac{Q\varphi'}{x'} + P$$

$$2^{o}\ \text{Horizontale} = \frac{P\varphi}{y}$$

B est ce que l'on nomme le point de rupture.

Le moment de la force verticale, pris par rapport au point A, est :

$$\left(\frac{Q\,y'}{x'} + P\right) x'$$

Le moment de la force horizontale, pris par rapport au même point A, est :

$$\frac{P\,\varphi}{y}\,y'$$

Pour qu'il y ait équilibre, c'est-à-dire pour que la voûte ne s'ouvre pas, il faut que les moments soient égaux, d'où :

$$Q\,\varphi' + P\,x' = \frac{P\,\varphi}{y}\,y'$$

Ajoutons de part et d'autre $P\varphi$, il vient :

$$Q\,\varphi' + P\,(x' + \varphi) = P\,\varphi\left(\frac{y + y'}{y}\right)$$

Or on a : $y + y' = C\,h = h$

quantité constante, d'où :

$$Q\,\varphi' + P\,(x' + \varphi) - P\,\varphi\,\frac{h}{y} = 0$$

y' et x se trouvent ainsi éliminées.

$Q\varphi'$ est le moment de Q, poids du voussoir AB, pris par rapport au point A.

$P(x' + \varphi)$ est le moment de P, poids du voussoir BC, pris par rapport au même point A.

$\frac{P\,\varphi}{y}\,h$ est le moment de $\frac{P\,\varphi}{y}$, composante horizontale de la force X appliquée en C, pris par rapport à A.

Dans cette équation, les seules inconnues sont x' et y. Pour une valeur donnée à l'une d'elles, on en déduira une valeur pour l'autre. Connaissant x' et y, on aura y' et x, en remarquant que l'on a :

$$x + x' = r = A\,h$$
$$y + y' = h = C\,h$$

Pour déterminer x' ou y, on fait diverses hypothèses.

On admet une position pour le point B ; on en déduit une valeur pour x' ; on en déduit aussi deux positions pour les centres de gravité g et g', d'où deux valeurs pour φ et φ'. Connaissant x', on a x par la formule : $x + x' = r$. Connaissant x et x', on a y et y' en élevant des perpendiculaires.

Substituant les valeurs de x', y, φ et φ' dans les divers termes de l'équation :

$$Q\varphi' + P(x' + \varphi) - \frac{P\varphi_{\prime}}{y}h = 0$$

on obtient un résultat plus grand que zéro, égal à zéro ou plus petit que zéro.

Tant que le résultat est plus grand ou plus petit que zéro, la position du point B a été mal choisie, et quand le résultat est zéro, c'est qu'alors le point considéré est réellement le point de rupture.

En opérant ainsi pour diverses courbes usitées, on a trouvé :

Dans le cercle en plein-cintre, le point de rupture B est situé sur la droite qui fait un angle d'environ 30 degrés avec l'horizontale A h : donc eB = environ arc 30 degrés (l'angle droit étant 90 degrés).

Dans la courbe à trois centres, ou anse de panier, le point de rupture B est situé sur la droite qui fait un angle d'environ 50 degrés.

Telle est la position du point de rupture théorique. Celle du point de rupture pratique n'est pas la même, car on la détermine en posant :

$$Q\varphi' + P(x' + \varphi) - 1.9\,\frac{P\varphi}{y}\,h = 0$$

Dans les ponts dont les arches sont en arcs de cercle, le point de rupture est sur les pieds-droits.

Epaisseur des pieds-droits.

Soient e l'épaisseur des pieds-droits, $\frac{P\varphi}{y}$ la force horizontale appliquée au point de rupture, on a la formule pratique :

$$e = \sqrt{2 \times 1.9\,\frac{P\varphi}{y}} = 1.95\sqrt{\frac{P\varphi}{y}}$$

Propriété du point de rupture.

La tangente à la courbe d'intrados, menée par le point de rupture, et la verticale passant par le centre de gravité du voussoir BC, se rencontrent sur la tangente menée par le point c à la courbe d'extrados.

Epaisseur de la voûte à la clef.

Elle se détermine par des considérations pratiques.

Soient e l'épaisseur à la clef, l la largeur entre les deux points de rupture, on a :

$$e = \frac{l}{30} + 0.^{m}325$$

Plus la longueur de la clef est grande, plus y est grand ; plus, par conséquent, $\frac{P\varphi}{y}$ est petit, c'est-à-dire plus la poussée horizontale au point de rupture est petite.

Epaisseur des piles.

Lorsque le fond est solide, l'épaisseur des piles se calcule pour résister à la charge qu'elles supportent, seulement. Dans le cas où le fond est mobile, il faut que les piles soient assez fortes pour résister à la poussée des arches.

Dans le premier cas, les arches peuvent être quelconques ; dans le second, on fait les arches en plein-cintre, afin que la poussée soit moindre.

En ne donnant aux piles que l'épaisseur nécessaire pour supporter la charge sans se rompre, on calcule cette épaisseur pour une charge triple de ce qu'elle doit être réellement. La charge d'une pile est une arche, plus le poids d'épreuve des ponts.

Souvent on augmente l'épaisseur des piles, sauf à les faire creuses intérieurement, pour les rendre susceptibles d'une plus grande résistance à l'action destructive des bateaux et des glaces.

Construction et établissement des piles.

On distingue, en construction, trois espèces de terrains sur lesquels on peut établir des fondations, savoir :

1° Les terrains incompressibles et inaffouillables, tels que roches, etc.

2° Les terrains incompressibles et affouillables, tels que sables et argiles compactes, etc.

3° Les terrains compressibles et affouillables, tels que vases, tourbes, etc.

Lorsque l'on a une fondation à faire sous l'eau, il faut préalablement sonder le terrain pour en déterminer la nature. Cela fait, on exécute les fondations de la manière suivante :

1° *Terrains incompressibles et inaffouillables.*

Il peut se présenter deux cas : où la roche sur laquelle doit être établie la pile de pont sort de l'eau d'une quantité suffisante pour que l'on puisse construire la pile à sec; ou cette roche est située à une certaine profondeur au-dessous du niveau de l'eau.

Dans le premier cas, on se contente de *déraser* le rocher horizontalement, de manière à ce qu'il présente une seule ou plusieurs surfaces planes en escalier, sur une surface égale à la section horizontale de la pile, puis on construit par les méthodes ordinaires.

Dans le second cas, il faut enlever l'eau et la terre qui recouvrent le rocher sur lequel on veut établir la pile, opération qui s'effectue par *épuisement* ou par *draguage*.

Si on épuise l'eau qui recouvre le rocher, les terres, s'il y en a, s'enlèvent à la pioche et à la pelle, puis la construction s'effectue commme ci-dessus, c'est-à-dire, en dérasant préalablement le rocher sur une surface suffisante à l'établissement de la pile.

Dans le cas où on drague pour enlever les terres, la fondation s'établit sur béton.

Nous allons expliquer ces deux genres de construction.

Epuisement.

Les épuisements s'effectuent au moyen des *bâtardeaux.*

On nomme bâtardeau une construction provisoire, ayant pour but d'isoler un certain espace d'eau et de terrain en un point donné d'un cours d'eau, de manière que l'eau de cet espace étant enlevée, il n'en revienne pas à sa place.

Un bâtardeau consiste généralement en deux prismes verticaux semblables et concentriques, à section horizontale dépendant de l'espace que l'on veut avoir intérieurement. Ces deux prismes se composent de *palleplanches*, maintenues les unes à côté des autres au moyen de *moises*, placées de distance en distance sur la hauteur.

La fig. 12, *Pl.* XXIV, représente en plan un de ces prismes; *a*, *a*, *a*, sont les palleplanches; *b*, *b*, *b*, les moises.

Entre ces deux prismes, établis ainsi dans la rivière à l'endroit où l'on veut faire un épuisement, on verse de l'argile, jusqu'à temps que tout l'espace compris entre eux soit rempli. L'argile étant insoluble dans l'eau, forme pâte et ferme exactement la communication entre l'extérieur et l'intérieur.

Afin de consolider les prismes sur lesquels l'argile exerce une forte poussée, on met, en dehors du grand et en dedans du petit, une file de pieux verticaux, enfoncés dans le sol à coups de mouton, et reliés supérieurement deux à deux, un extérieur, un intérieur, par des traverses en bois qui maintiennent l'écartement; ces pieux sont en outre assemblés aux moises par des boulons, etc.

Lorsque l'on veut établir un bâtardeau, on a soin de lui donner une hauteur suffisante pour n'avoir pas à redouter les crues d'eau, pendant l'exécution de la pile.

Si l'on se contentait de descendre les prismes tout assemblés dans l'eau, il en résulterait que les palleplanches ne pénétrant pas dans le sol, l'eau s'infiltrerait facilement en dessous et viendrait gêner le travail. Alors, on pose les palleplanches après les pieux et les moises, et les taillant inférieurement en biseau, on les enfonce, comme les pieux, à coups de mouton. Cela fait, on affouille, autant qu'on le peut, le terrain entre les palleplanches, afin que l'argile descende le plus bas possible.

Le bâtardeau construit, on épuise soit à la vis d'*Archimède*, soit au moyen de pompes, suivant que l'on trouve plus d'économie par l'un que par l'autre mode.

L'épuisement terminé, il se fait inférieurement des petites infiltrations qui nécessitent un épuisement continuel pendant tout le temps de la fondation de la pile.

Ces infiltrations sont d'autant plus considérables, que l'on est obligé de creuser plus profondément dans le sol, avant d'atteindre le rocher.

Lorsque l'on n'a pas de terre glaise à sa disposition pour faire un bâtardeau, on prend du sable que l'on verse dans une toile formant sac entre les palleplanches; mais cette méthode est moins bonne et plus coûteuse.

Draguage.

Le draguage a pour but d'enlever les terres sous l'eau sans



avoir fait préalablement d'épuisement, ce qui suppose que l'on a l'intention de construire la fondation entière de la pile sans avoir recours à ce genre de travail.

On nomme *drague*, l'appareil employé pour creuser ainsi le sol sous l'eau. Suivant l'importance du travail à exécuter, la drague consiste tantôt en une simple pelle recourbée, munie d'un long manche, qu'emploient les mariniers pour retirer des rivières le sable qu'ils vendent pour les constructions ou les jardins, lequel instrument ne nécessite que la force de un ou deux hommes, suivant ses dimensions; tantôt c'est une série de hottes fonctionnant chacune d'une manière analogue à la manière de fonctionner de la drague à main, et montées toutes sur une chaîne à la Vaucanson, que mettent en mouvement des chevaux ou une machine à vapeur.

Le draguage ainsi effectué sur l'emplacement ménagé pour établir une pile de pont, on peut ou établir un bâtardeau comme précédemment, que l'on descend alors tout assemblé, puisqu'il n'y a pas possibilité d'enfoncer les pieux et palleplanches dans le sol, ou descendre une caisse dans laquelle on coule du béton jusqu'à la hauteur où l'on peut établir la pile à sec.

Dans ce cas, si la rivière sur laquelle on fonde est susceptible de charrier des glaces, ce qui a lieu presque généralement en France, on descend successivement des couches interposées de béton et de pierres de taille.

Ce genre de fondation, qui est presque exclusivement employé aujourd'hui lorsqu'on fonde sur rocher, s'exécute de la manière suivante :

On fait une caisse sans fond, dont les côtés se composent de palleplanches reliées aussi par des moises et rendues étanches au moyen de cordes goudronnées placées entre elles sur toute la hauteur, dans des rainures pratiquées à cet effet.

Les palleplanches sont coupées inférieurement de manière à suivre toutes les sinuosités du rocher et le toucher autant que possible partout. Cela fait, on verse du béton jusqu'à la moitié de la hauteur du bâtardeau, puis ensuite une couche de pierres de taille aussi régulière que possible; au-dessus de cette couche, on coule une seconde couche de béton, et ainsi de suite.

Afin de ne pas délayer le béton en le coulant, et séparer les pierres de la chaux qui le composent, on a des seaux à fond mobile, de la capacité de 50 litres, que l'on descend lentement et n'ouvre que quand ils touchent le fond.

2° Terrains incompressibles et affouillables.

Ces terrains sont ceux que l'on rencontre le plus généralement lorsque l'on veut construire dans l'eau.

Il faut, dans ce cas, construire la fondation de manière que les affouillements ne puissent en compromettre la solidité, ou de manière à empêcher ces affouillements autant que possible.

Lorsque les rivières sont assez tranquilles pour que leur lit varie peu, comme la *Seine*, l'*Oise*, la *Marne*, etc., on s'inquiète peu des affouillements, seulement on fait les constructions de telle manière qu'ils ne peuvent les endommager.

Dans le cas, au contraire, où les rivières ont un lit très-mobile, comme les torrents, il faut prévenir ces derniers, sans quoi ils finiraient par arriver jusqu'au point où on se rattache, dans le premier cas, pour fonder avec sécurité.

On distingue deux modes d'exécution lorsque le lit de la rivière n'est pas très-variable, savoir :

1° Fondation sur béton,

2° Fondation sur pilotis.

Fondation sur béton.

Ce mode de fondation, très-simple et exclusivement employé aujourd'hui pour les terrains incompressibles et affouillables, sur rivière à lit stable, s'exécute de la manière suivante :

On bat des pieux, distants les uns des autres de 1.^{m}50 à 2 mètres, sur le périmètre d'un polygone capable de la section horizontale de la pile à établir. On relie ces pieux entre eux au moyen de doubles moises. Cela fait, on enfonce des palleplanches entre les moises, de manière à fermer exactement le prisme. Ce travail est assez difficile, parce qu'il est rare que les palleplanches suivent bien exactement la direction qu'on leur donne.

Pour éviter la déviation des palleplanches à la partie inférieure, on y fait une ceinture de moises comme dans le haut.

Cela fait, on drague dans l'intérieur du prisme, aussi profondément que possible, et on coule ensuite du béton et de la pierre de taille alternativement, comme dans le cas des fondations sur rocher. Afin d'éviter, autant que possible, les affouillements, on fait un *enrochement* autour de l'espèce de bâtardeau ainsi construit.

On donne le nom d'enrochement à un dépôt de pierres que l'on dépose autour d'une construction pour la protéger contre

l'action mécaniquement destructive des eaux. Le volume des pierres que l'on jette à cet effet est calculé pour résister à la poussée des plus fortes crues d'eau que l'on ait à redouter.

Fondation sur pilotis.

On donne le nom de *pilotis* à des pieux que l'on enfonce verticalement dans le sol, jusqu'à temps qu'ils résistent à une pression déterminée.

Pour fonder sur pilotis dont la section est donnée, on détermine le poids total à supporter par la fondation; puis, sachant la résistance des pieux à l'écrasement, on en détermine le nombre en divisant le poids total à supporter, par la charge que chacun d'eux peut porter.

Ainsi, un millimètre quarré de section de pieu se rompt sous une charge de 3.^{k}00. On est dans l'usage de ne faire supporter aux pieux que le cinquième de cette charge, donc 0.^{k}600, et par centimètre quarré 60.^{k}00. Si les pieux ont 0.^{m}20 de côté, chacun d'eux peut supporter une charge de 24000 kil.

Connaissant le nombre de pieux et la section de la maçonnerie qui pèsera dessus, on détermine la place de chacun d'eux pour qu'ils supportent tous la même charge. Pour cela, il suffit de partager la section de la maçonnerie en autant de surfaces équivalentes entre elles qu'il y a de pieux, et de placer le centre de chaque pièce au centre de gravité de chacune de ces surfaces.

Avant d'enfoncer les pieux, il est convenable de draguer préalablement, le plus profondément possible. Cela fait, on enfonce les pieux au moyen d'une *sonnette*.

Une sonnette est une machine destinée à soulever, jusqu'à une hauteur déterminée, un poids déterminé aussi et appelé *mouton*. Cette sonnette est mue à bras d'homme, le plus généralement, et, suivant l'importance du poids, tire directement une corde ou fait tourner une manivelle.

Le poids à soulever étant constant, on détermine de la manière suivante la hauteur à laquelle il doit être élevé pour opérer sur le pieu, en tombant, une pression égale à celle qu'il devra supporter plus tard :

1° Soient : M, la masse du mouton ;
N, la vitesse qu'il possède au moment du choc ;
M', la masse du pieu ;
v', la vitesse avec laquelle il s'enfonce après le choc ;

On a : $$v' = \frac{M v}{M + M'}$$

L'enfoncement d'un pieu constitue un travail que l'on peut représenter par $^1/_2$ $(M + M')$ V'^2, $(M + M')$, v'^2 étant la force vive au moment du choc.

L'enfoncement est donc proportionnel à $^1/_2 (M + M') v'^2$, ou simplement à $(M + M') v'^2$.

Or on a :

$$(M + M') v'^2 = (M + M') \frac{M^2 v^2}{(M + M')^2} = \frac{M^2 v^2}{M + M'}$$

$$v^2 = 2 g h$$

donc : $$(M + M') v'^2 = \frac{M^2 \times 2 g h}{M + M'} = \frac{2 g M h}{1 + \frac{m}{M}}$$

Si M est constant, l'enfoncement est proportionnel à h.

$M h$ est proportionnel au travail à dépenser pour enfoncer le pieu. Or, on peut conserver ce produit constant en variant M et h.

Plus le dénominateur sera petit, plus l'enfoncement sera grand; la plus petite valeur du dénominateur est 1 correspondant à $M = \infty$, ce qu'on ne peut avoir.

Il faut donc que M soit le plus grand possible. Les poids des moutons varient entre 150 et 2200 kil.

2° Pour déterminer le choc nécessaire, il faut remarquer que si, sous un coup de mouton, la pièce n'entrait plus du tout, sa résistance serait infinie, car le travail du mouton tombant est $Q h$, Q étant son poids. Si F est le frottement du pieu dans le sol, exprimé en kilogrammes, et a l'enfoncement pour le travail $Q h$, on a :

$$F \times a = Q \times h$$

On en déduit : $$F = \frac{Q h}{a}$$

Pour des valeurs sans cesse décroissantes de a, F augmente, et pour $a = 0$

$$F = \frac{Q h}{0} = \infty$$

Généralement on tâche de se rapprocher autant que possible de cette valeur de F. Mais, si on veut avoir, avec approximation, la résistance de son pieu, on admet pour F une valeur de beaucoup supérieure à la charge qu'il devra supporter, et pour a une petite valeur, ainsi :

Nous avons dit qu'un pieu de 0.^{m}20 d'équarrissage peut supporter 24000 kil.

Faisons F = 40000 kil., et a = 0.^{m}01

nous aurons alors :

$$40000 \times 0{,}01 = Q \times h$$

Si Q est donné égal à 200 kil., on a :

$$h = \frac{40000 \times 0{,}01}{200} = 2.^m00$$

On fera descendre le mouton sur le pieu de la hauteur 2.^{m}00 jusqu'à temps que le pieu n'enfonce plus que de 1 centimètre par coup de mouton.

Lorsque les pieux sont enfoncés, il peut se présenter deux cas :

Ou l'épuisement est facile;

Ou l'épuisement est difficile et même impossible.

Le premier cas a lieu quand le sol, bien que mobile, n'est pas perméable à l'eau : l'argile est dans ce cas.

Le second cas a lieu pour tous les autres terrains mobiles, tels que le sable, le gravier, qui laissent filtrer l'eau et rendent la construction d'un bâtardeau impossible.

Dans le cas où l'épuisement est facile, on construit un bâtardeau, comme nous avons indiqué précédemment, et on épuise.

Cela fait, on achève le battage des pieux à sec, puis on nivelle les têtes qui sont à des hauteurs très-variables les unes par rapport aux autres. Ensuite on établit deux lignes de poutres horizontales, les unes longitudinales, les autres transversales. Les premières se nomment *longrines* et se placent après les dernières, que l'on nomme *traversines*.

Si les pieux sont trop espacés, on remplit l'intervalle entre les longrines sur les traversines par une plate-forme en madriers jointifs.

Ces préliminaires une fois établis, on construit les fondations de la pile à sec par la méthode ordinaire.

Dans le cas où l'épuisement est difficile ou impossible, et même souvent dans le premier cas, on fonde en *caisson*.

Un caisson n'est autre qu'une caisse prismatique, ayant la forme de la fondation de la pile, que l'on descend dans la rivière sur les pilotis, préalablement coupés de niveau, et dans laquelle on construit à sec la fondation.

Le coupage des pilotis, opération fort délicate, s'opère au moyen de la scie de *Sessard*, qui consiste en une scie horizontale disposée sur un plateau de manière à pouvoir fonctionner sous l'eau, étant manœuvrée dehors.

On emploie aussi, pour le même objet, des scies circulaires disposées à cet effet.

Les caissons, qui s'emploient aussi pour fonder sur terrain incompressible et inaffouillable, se construisent de deux manières, savoir :

Les caissons pour fonder sur le sol,

Les caissons pour fonder sur pilotis.

Ces deux modes de construction des caissons ne diffèrent l'un de l'autre que par le fond.

Le fond des premiers consiste en une série de madriers longitudinaux jointifs, d'une épaisseur de 10 à 11 centimètres (3 pouces 1/2 à 4 pouces), reliés entre eux par des traversines de 25 à 30 centimètres (9 à 11 pouces) d'équarrissage, placées dans l'intérieur de la caisse, et espacées les unes des autres de 70 centimètres (2 pieds 1 pouce) de centre en centre.

Le fond des caissons pour pilotis consiste en une série de pièces de bois appelées *racineaux*, reliées entre elles par des madriers superposés intérieurement.

Dans les deux cas, les faces verticales sont construites de manière à pouvoir se démonter quand la pile est exécutée.

On appelle *lancer un caisson*, l'opération qui a pour but de le mettre à l'eau et le placer au-dessus des pieux.

Pour couler le caisson, lorsque ses dimensions sont grandes, on construit dans son intérieur les fondations de la pile, comme si le caisson était en place ; alors, il descend petit à petit, au fur et à mesure que l'on apporte des pierres, et il arrive un moment où il touche les pieux. Arrivé à ce point, on examine attentivement s'il occupe bien la place qu'on lui destinait, et on continue la maçonnerie.

Dans les constructions sur pilotis comme dans celles sur béton, on est dans l'usage d'entourer la fondation d'un enrochement.

3° *Terrains compressibles et affouillables.*

Les fondations sur ces terrains sont toujours peu sûres, vu la mobilité du sol. Lorsque l'on veut fonder sur pilotis, il n'est pas possible d'enfoncer les pieux à plus de cinq mètres, et les affouillements vont quelquefois jusqu'à sept.

Il faut alors draguer jusqu'à la profondeur du lit et ramener ce cas à l'un des deux précédents.

Mais il peut arriver que le lit soit à une telle profondeur, que le draguage n'est pas praticable, alors on établit un radier général sur une surface suffisante pour empêcher les affouillements; encore faut-il, dans ce cas, que le terrain soit peu compressible, comme le sable, sans quoi il n'y a pas moyen d'exécuter.

Nous terminerons l'étude des fondations sur terrains situés au-dessous de l'eau, par le tableau suivant, donnant les prix de revient de l'épuisement par différentes méthodes.

Tableau comparatif de l'épuisement par différents moteurs et différentes machines.

NOMS DES MACHINES d'épuisement.	VOLUME d'eau élevée par un homme dans un jour à 1m de haut.	EFFET UTILE. Coefficient.	PRIX du mètre cube d'eau élevée à 1m de haut.	OBSERVATIONS.
	mètres.		fr.	
Vans	46	0.66	0.042	La journée est de 8 heures, payée à raison de 1 fr. 90.
Chapelets inclinés	67	0.44	0.035	
Pompes	84	0.50	0.028	
Vis d'Archimède	90	0.58	0.023	
Chapelets verticaux	117	0.75	0.021	
Roues à godets	»	»	0.007	Mue par le courant.
Norias	»	»	0.015	Mue par machine à vapeur.
Vis d'Archimède	»	»	0.043	id.
Pompes	»	»	0.083	id.

Exécution des voûtes.

Les voûtes se construisent sur des *cintres*, de deux manières distinctes :

1° Construction sur cintres fixes ;

2° Construction sur cintres retroussés.

On nomme *corbeaux*, les pierres que l'on fait saillir à l'assise supérieure des pieds-droits pour soutenir les cintres.

Les cintres fixes sont composés de pièces de bois suffisamment longues pour porter sur les corbeaux.

Les cintres retroussés se composent de plusieurs cours d'arbalétriers qui buttent les uns contre les autres. Ces derniers, suivant la forme intérieure de la voûte, ne gênent en rien le passage des bateaux sous les ponts ; mais ils présentent l'inconvénient de changer de forme et de produire un surhaussement à la clef, pendant que l'on pose les premiers voussoirs. Les premiers sont donc préférables, parce qu'ils ne bougent pas.

Les fermes des cintres s'espacent les unes des autres de 2 à 3 mètres.

Une des précautions principales à prendre quand on construit un pont, c'est de prévenir le tassement qui s'opère lors du décintrage, et donner aux faux cintres un surhaussement suffisant pour que la voûte ait, après son tassement, la courbe voulue.

On a observé, dans les ponts ci-dessous, les tassements suivants après décintrage :

	Largeur des arches.	Tassements.
Pont de Nemours, en arc de cercle.	16.m 20	0.m 203
Id. de Nogent, anse de panier.	29 25	0 446
Id. de Neuilly, courbe à 11 centres	39 00	0 666
Id. de Mantes, anse de panier.	39 00	0 557
Id. de St-Sauveur, *id.*	23 00	0 120
Id. d'Iéna, arc de cercle.	28 00	0 120
Id. de la Concorde, *id.*	28 00	0 120

Le resserrement du mortier est de 1 millimètre par joint bien fait et mince.

Lorsque l'on pose les voussoirs, on a soin de ne faire qu'ébaucher la tête, que l'on achève sur place.

Construction des culées.

Les culées de ponts sont destinées non-seulement à supporter, comme les piles, la charge de la portion d'arche qui pèse

sur elles, mais encore à résister à la différence qui existe entre la poussée des terres et la poussée de la voûte.

Nous avons calculé la poussée de la voûte sur la culée, il nous reste à trouver la poussée des terres en sens contraire.

Soit cb (*fig.* 13) la hauteur h d'un terrain be au-dessus d'un terrain voisin.

Les terres, exposées aux intempéries des saisons, s'ébouleront et prendront une inclinaison *maxima* ce.

Mettons un mur bc, et remplissons l'espace bce de terre. Cette terre se partagera en deux prismes, l'un $bcf \times l$, l étant la longueur du mur dit *solide de plus grande poussée*, l'autre $fce \times l$ qui s'appuiera sur les terres.

Soient P le poids du prisme, et Q la résistance du mur, appliqués tous deux aux centres de gravité du prisme et du mur. Si les deux volumes ont partout la même section, P et Q seront situés au milieu de la longueur, dans un même plan, et se rencontreront en un même point m.

Ces deux forces se décomposent chacune en deux autres, comme nous allons le voir.

1° *Poussée des terres.*

Supposant bc vertical, pour simplifier la question, nous avons :

Poussée du prisme bcf. π étant la densité des terres, on a pour poids de ce prisme :

$$\tfrac{1}{2}\, h \times bc \times \pi = \mathrm{P}$$

Si α est l'angle bcf, on a :

$$bf = h \text{ tang. } \alpha$$

et : poids du prisme $\mathrm{P} = \pi\, h^2\, \dfrac{\text{tang. } \alpha}{2}$

Ce poids se décompose en deux forces, dont l'une perpendiculaire et l'autre normale à cf, savoir :

Force normale . . . . $\dfrac{\pi\, h^2}{2}$ tang. α sin. α

Force parallèle . . . $\dfrac{\pi\, h^2}{2}$ tang. α cos. α

La première est détruite par la résistance du plan cf, l'autre obtient tout son effet.

2° *Résistance du mur.*

La force Q, appliquée en m, se décompose en deux autres, une normale à cf, l'autre parallèle à cf et opposée à $\frac{\pi h^2}{2}$ tang. α cos. α, et on a :

Force normale. . . . Q cos. α
Force parallèle. . . . Q sin. α

La force normale est détruite par la résistance du plan ; la force parallèle obtient tout son effet.

Pour qu'il y ait équilibre, il faut que les deux forces opposées soient égales, donc :

$$Q \sin. \alpha = \frac{\pi h^2}{2} \text{tang.} \alpha \cos. \alpha$$

d'où :

$$Q = \frac{\pi h^2}{2} \text{tang.} \alpha \frac{\cos. \alpha}{\sin. \alpha}$$

Remarquant que $\frac{\cos. \alpha}{\sin. \alpha} = \frac{1}{\text{tang.} \alpha}$, il vient :

$$Q = \frac{\pi h^2}{2}$$

Soit x l'épaisseur du mur, la poussée des terres tend à le faire tourner autour du point A. On trouve par le calcul différentiel que le point d'application de Q est situé aux deux tiers de h, à partir du point C, d'où on a :

$$bn = {}^1\!/_3\, h$$

La surface du rectangle ACbd étant $h \times x$, si on représente par Π sa densité, son moment par rapport au point A est :

$$\Pi\, h x \times \frac{x}{2} = \Pi\, h \frac{x^2}{2}$$

Le moment de Q, pris par rapport au point A, est :

$$Q \times {}^2\!/_3\, h$$

Le moment de Q doit être égal à celui du mur, puisque Q n'est que la conséquence de $\Pi\, h\, x$; on a donc :

$$Q \times {}^{2}/_{3} h = \Pi\, h\, \frac{x^2}{2}$$

d'où :
$$Q = \frac{\Pi\, h\, x^2 \times 3}{2 \times 2\, h} = \frac{3\, \Pi\, x^2}{4}$$

et :
$$\frac{3\, \Pi\, x^2}{4} = \frac{\pi\, h^2}{2}$$

On déduit de cette équation :

$$x^2 = \frac{2\, \pi\, h^2}{3\, \Pi}$$

et :
$$x = h \sqrt{\frac{2\, \pi}{3\, \Pi}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

En déterminant la valeur de x par le calcul différentiel, on arrive à la formule suivante :

$$x = h \text{ tang. } {}^{1}/_{2}\, \tau \sqrt{\frac{\pi}{3\, \Pi}}$$

L'angle τ ne dépasse jamais 35 à 40°; ${}^{1}/_{2}\, \tau$ est donc toujours au-dessous de 20°; tang. ${}^{1}/_{2}\, \tau$ est donc au-dessous de 0,365, valeur de tang. 20°, le rayon des Tables étant 1.

Cette formule diffère de celle que nous venons de donner, en ce que $\sqrt{2}$ est remplacée par une quantité plus petite que 0,365. Si donc notre formule pèche, c'est par un excédant de valeur pour x, qui ne fait qu'assurer de la résistance au mur.

Comme $\sqrt{2} = 1{,}416 = 0{,}365 \times 3{,}87$, la première formule ne peut servir, et il faut employer la seconde qui, simplifiée, devient, pour tous les cas :

$$x = 0.4\, h \sqrt{\frac{\pi}{3\, \Pi}} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Les densités des terres et des murs sont assez peu variables pour que l'on puisse encore simplifier cette formule :

On a : $\pi = \Pi$, à très-peu près,

d'où : $x = 0.4\, h \sqrt{{}^{1}/_{3}} = 0.232\, h$

Pour les murs de soutenement, auxquels on donne toujours un talus de 1 centimètre par mètre, on pourra employer en toute sûreté la formule :

$$x = 0{,}2\ h$$

pour déterminer l'épaisseur du mur dans le haut.

Ainsi un mur de soutennement de 10 mètres aurait une épaisseur de 2 mètres dans le haut et 3 mètres dans le bas.

Nous avons souvent employé cette formule, et n'avons pas éprouvé le moindre mouvement dans les murs construits avec les épaisseurs qu'elle donne.

Nous devons dire cependant que, lorsque les murs sont destinés à supporter des terres argileuses, tourbeuses, spongieuses, il est de la plus haute importance, quelle qu'en soit l'épaisseur, de les mettre à l'abri de l'humidité continuelle que dégagent ces terres, ce qui se fait au moyen de glacis intérieurs et de rigoles ménagées à l'effet de les conduire au dehors.

§ 3. — CONSTRUCTION DES PONTS EN CHARPENTE ET EN FER.

Les points d'appui des ponts en charpente sont de deux espèces, savoir ;

Les piles en pierre,
Les palées en bois.

Les culées peuvent aussi être en maçonnerie ou en charpente.

Le bois ne s'emploie plus guère aujourd'hui pour construire les soutiens des ponts, à moins que ceux-ci soient de peu d'importance; tandis qu'au contraire, il s'emploie presque exclusivement à la construction des travées, qui ne se font plus en pierres, tant à cause du temps énorme que ce genre de construction exige, qu'à cause du prix de revient qui est aussi très-considérable.

Nous ne parlerons ici que de la construction des travées en bois, qui présentent seules de l'intérêt.

Lorsque la distance entre les soutiens ne dépasse pas 4 à 5 mètres, on se contente de mettre des poutres longitudinales, munies ou non munies de *sous-poutres* à l'endroit des appuis. Si l'espace est plus considérable, on met des sous-poutres et des jambes de force qui portent sur les soutiens.

Quand l'ouverture des travées dépasse 15 mètres, on leur donne la forme d'arches, et on les compose de plusieurs rangs de madriers superposés.

M. Emery, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a publié un ouvrage fort intéressant sur la construction du pont en charpente qu'il a été chargé d'établir sur la Seine, près du confluent de cette rivière avec la Marne, à Ivry. Nous renvoyons à cet excellent ouvrage pour tous les détails relatifs à ce genre de construction.

Il serait bien à désirer que tous les travaux consciencieusement exécutés fussent ainsi détaillés, après achèvement, dans un ouvrage spécial. Malheureusement ces derniers sont très-peu nombreux, vu le nombre toujours trop considérable des gens qui ont le droit et la prétention d'y introduire quelque petit produit plus ou moins absurde de leur imagination.

Depuis quelques années, on tente, non sans succès, de remplacer la pierre et le bois par le fer et la fonte, dans la construction des arches de ponts.

A cet effet, plusieurs systèmes ont été employés.

Dans le premier qui fut construit ainsi, la Passerelle de l'Institut, à Paris, dite Pont-des-Arts, on donna à la fonte la forme que l'on donnait au bois, à quelques modifications près.

Ce mode de construction présente l'inconvénient de nécessiter des réparations incessantes, soit pour remplacer les boulons tombés, soit pour resserrer ceux dont les écrous se dévissent, soit, enfin, pour raccommoder les oreilles de fonte qui se cassent. En un mot, ce mode est peu solide.

Vient ensuite le pont d'Austerlitz, dans lequel on donna à la fonte la forme de voussoirs creux pour la faire agir d'une manière analogue aux pierres. Ces voussoirs sont encore reliés entre eux par des boulons.

Par suite des oscillations que subit ce pont lorsqu'il passe une voiture, tous les montants destinés à recevoir les voussoirs dans le voisinage des culées se sont rompus; de plus, les voussoirs se sont abîmés et les boulons se sont desserrés. Il en résulte qu'il faut constamment resserrer ces derniers et remplacer ceux qui tombent, comme au Pont-des-Arts.

Mais si ces deux ponts sont loin de plaider en faveur de la substitution des métaux à la pierre et au bois, il en est d'autres qui en constatent une supériorité incontestable. Ce sont les ponts en fonte, dits à l'*anglaise*, dont le pont du Carrousel offre un des plus beaux modèles.

Dans ce dernier, au lieu de cinq arches, comme aux autres

ponts établis dans le voisinage, sur la Seine, il n'y en a que trois.

Les arceaux consistent en deux rangées de plaques de fonte, assemblées à brides par des boulons, bombées de manière à présenter une section elliptique, remplie intérieurement par des madriers en bois superposés et goudronnés.

Ces arceaux supportent le tablier du pont au moyen de cercles en fonte à gorge, embrassant les brides, et appuyés tous les uns contre les autres par des colonnettes horizontales en fonte.

Les arches de ce pont ont 48 mètres d'ouverture chacune. Il a été construit par M. *Polonceau*, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

CHAPITRE II.

PONTS SUSPENDUS.

Ces ponts sont ceux dont la construction est le plus généralement confiée aux ingénieurs civils, aussi allons nous les étudier avec soin.

Un pont suspendu consiste en un tablier en charpente soutenu au-dessus d'un conrs d'eau ou antre excavation, au moyen de tiges de suspension, lesquelles sont elles-mêmes fixées par leur extrémité supérieure à un ou plusieurs cables régnant sur toute la longueur du pont, et reliés, par leurs extrémités, à des points fixes.

Calculs du pont suspendu.

Soit A $m\,m'\,m''\,m'''$ B (*fig.* 14) un polygone funiculaire : A et B étant fixes, et les points m, m', m'', m''' étant sollicités par des forces P P' P'' P''' parallèles entre elles;

1° Il faut, pour l'équilibre, que tous les points A, m, m', m'', m''', B soient dans un même plan, ainsi que les directions des forces qui les sollicitent;

2° Si T, T', T'' sont les tensions des cordons mm', $m'm''$, $m''m'''$, on obtient les valeurs de ces tensions de la manière suivante :

On prolonge A m et $m'm''$ jusqu'à leur rencontre en o, et on mène par ce point l'horizontale nn'. Soit A $o\,n = 6$, $m'\,on' = \alpha$.

Si l'on suppose le cordon $m'm''$ coupé en son milieu, sa tension est la force qui le retient dans sa position normale.

Soit A la tension du point A, et décomposons A et T' en deux forces, chacune dirigée suivant l'horizontale et la verticale passant au point o, on aura :

T'. . . .	horizontale	$T' \cos. \alpha.$
	verticale	$T' \sin. \alpha.$
A. . . .	horizontale	$A \cos. \varepsilon.$
	verticale	$A \sin. \varepsilon.$

Puisqu'il y a équilibre entre A et T', il en résulte que l'on a :

$$T' \cos. \alpha = A \cos. \varepsilon$$
$$T' \sin. \alpha = A \sin. \varepsilon$$

Appliquons ce principe au point suspendu :

Soient A et B (*fig.* 15) les extrémités du cable qui supporte le pont ; soit A m B la courbe que prend ce cable.

Pour trouver la forme de cette courbe, nous la décomposons en éléments très-petits. Si m est le point le plus bas ou sommet, on peut supposer qu'il y a un élément en m, lequel élément est horizontal. Coupons le cable en ce point ; la pression exercée par le tablier du pont de A en m est la même que celle exercée de m en B, donc ce qui aura lieu pour la moitié A m aura aussi lieu pour l'autre moitié B m.

Soit Q la tension du cable au point m, l'élément du cable en ce point étant horizontal, Q est horizontal.

Soient m', m'', m''', etc., des points de division de la courbe A m, mp, $m'p'$, $m''p''$, etc., A A' les perpendiculaires abaissées de ces points sur l'horizontale m A'.

Soient π le poids supporté par la demi-chaîne Am; n le nombre des divisions infiniment petites de A m. Si on suppose que les distances mp, pp', $p'p''$, etc., des pieds des perpendiculaires abaissées de m, m', m'', etc., sont égales entre elles, le poids supporté par chacun des points m, m', m'', etc, sera constant

et égal à $\dfrac{\pi}{n} = p.$

Soient α, α', α'', etc., les angles que font les côtés mm', $m'm''$, etc., avec l'horizontale ; t, t', t'', etc., les tensions de ces différents éléments, on aura, (*fig.* 16) :

1° Pour m' dont la tension est t :

Tension horizontale $t \cos. \alpha.$
Tension verticale $t \sin. \alpha.$

et pour l'équilibre :

$$t \cos. \alpha = Q$$
$$t \sin. \alpha = p$$

Pour un point quelconque m^{n+1} (*fig.* 18), on a :

1° Au point m^n . . . tension horizontale $t^n \cos. \alpha_n$
tension verticale $t^n \sin. \alpha_n$.

2° Au point m^{n+1} tension horizontale $t^{n+1} \cos. \beta_n$
tension verticale $t^{n+1} \sin. \beta_n$

Pour l'équilibre, on a :

$$t^n \cos. \alpha_n = t^{n+1} \cos. \beta_n$$
$$t^n \sin. \alpha_n + p = t^{n+1} \sin. \beta_n$$

Or, si l'on considère les éléments successifs, on voit que l'on a :

$$1^\circ \quad t_n \cos. \alpha_n = t_{n+1} \cos. \beta_n = t_{n+2} \cos. \alpha_n{}' \text{ etc.}$$
$$= t \cos. \alpha = Q,$$

c'est-à-dire que les tensions horizontales sont constantes et égales à Q, d'où on déduit :

$$t_n = \frac{Q}{\cos. \alpha_n}$$

La tension en un point quelconque est égale à la tension horizontale, au sommet de la courbe, divisée par le cosinus de l'angle que fait avec l'horizontale la tangente en ce point.

On déduit de là :

Plus α_n est petit, plus $\cos. \alpha_n$ est grand ; par conséquent plus t_n est petit ;

Pour $\alpha_n = 0$, $\cos. \alpha_n = 1$, d'où :

$$t_n = Q.$$

La tension minima a lieu au point m pour lequel $\alpha_n = 0$.

2° On a au point m' . . . . $t \sin. \alpha = p$
au point m''. . . $t' \sin. \alpha' = t \sin. \alpha + p = 2p$

au point m''' . . . $t'' \sin. \alpha'' = t' \sin. \alpha' + p = 3p$

au point m^n. . . $t^n \sin. \alpha^n = t^{n-1} \sin. \alpha^{n-1} + p = (n+1)p$

La tension verticale augmente depuis le sommet de la courbe jusqu'au point A, ce que nous devions trouver d'après ce qui précède, les tensions horizontales étant constantes.

On déduit de là les équations suivantes pour trouver les tensions en un point quelconque t^n :

$$t^n \cos. \alpha_n = Q \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$t^n \sin. \alpha_n = (n+1)p \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

d'où :

$$\text{tang. } \alpha_n = \frac{(n+1)p}{Q} \quad . \quad . \quad (3)$$

Forme de la courbe.

Soit b la distance m A', on aura pour expression de la distance en deux pieds consécutifs quelconques p, p' de perpendiculaires :

$$p\,p' = \frac{b}{n}$$

ce qui donne :

$$m\,p' = \frac{b}{n}$$

$$m\,p'' = \frac{2\,b}{n}$$

$$m\,p''' = \frac{3\,b}{n}$$

etc . . . . . .

$$m\,p_m = \frac{m\,b}{n} = x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

m étant un nombre quelconque indiquant combien on prend de divisions à partir du point m.

On a d'autre part :

$$m'\,p' = m\,p' \text{ tang. } \alpha = \frac{b}{n} \text{ tang. } \alpha$$

$$m'' p'' = m' p' + \frac{b}{n} \text{ tang. } \alpha' = \frac{b}{n} (\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \alpha')$$

$$m''' p''' = m'' p'' + \frac{b}{n} \text{ tang. } \alpha'' = \frac{b}{n} (\text{ tang. } \alpha + \text{tang. } \alpha' + \text{tang. } \alpha'')$$

$$m_m p_m = \frac{b}{n} \left(\text{tang. } \alpha + \text{tang. } \alpha' + \text{etc...} + \text{tang. } \alpha_{m-1} \right)$$

Nous avons trouvé (équation 3) :

$$\text{tang. } \alpha_m = \frac{(m+1)\, p}{Q}$$

Faisons :

$$m = 0 \qquad \text{tang. } \alpha = \frac{p}{Q}$$

$$m = 1 \qquad \text{tang. } \alpha_1 = \frac{2p}{Q}$$

$$m = 2 \qquad \text{tang. } \alpha_2 = \frac{3p}{Q}$$

etc. etc. etc.

Soit $m_m p_m = y$, il vient :

$$y = \frac{b}{n} \frac{p}{Q} \left(1 + 2 + 3 + \text{etc.} + m \right)$$

Nous avons trouvé (équation 4) :

$$x = \frac{m b}{n}$$

On en déduit :

$$m = \frac{n x}{b}$$

et : $$y = \frac{b}{n} \frac{p}{Q} \left(1 + 2 + 3 + \text{etc.} + \frac{n x}{b} \right)$$

Or, la somme des termes d'une progression arithmétique est donnée par la formule :

$$\int = \frac{(a+l)\,n}{2}$$

a premier, l dernier terme, n nombre des termes.

On a donc :

$$1+2+3+\ldots+\frac{n x}{b} = \frac{\left(1+\frac{n x}{b}\right)\frac{n x}{b}}{2}$$

et :

$$y = \frac{b\,p}{n\,Q} \times \frac{n x\left(1+\frac{n x}{b}\right)}{2\,b}$$

$$= \frac{p}{2\,Q}\left(x+\frac{n x^2}{b}\right)$$

Or, on a : $p = \dfrac{\pi}{n}$

donc : $$y = \frac{\pi x^2}{2\,b\,Q} + \frac{\pi x}{2\,n\,Q}$$

Faisons $n = \infty$, $\dfrac{\pi x}{2\,n\,Q}$ devient nul, et on a :

$$y = \frac{\pi x^2}{2\,b\,Q} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Cette équation est celle d'une parabole.

Soient ox, oy (*fig.* 17) deux axes : pour $x = o$ il vient $y = o$, donc la courbe passe par le point o.

Pour des valeurs croissantes de x on obtient des valeurs croissantes de y.

Soient f et b l'ordonnée et l'abcisse du point A de la courbe, pour $x = b$ on doit avoir $y = f$, donc :

$$f = \frac{\pi b^2}{2\,b\,Q} = \frac{\pi b}{2\,Q}$$

et $$Q = \frac{\pi b}{2 f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

f est ce qu'on nomme la flèche de la courbe.

Substituant cette valeur de Q dans l'équation de la courbe, il vient :

$$y = -\frac{f x^2}{b^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

équation indépendante de π, ce qui prouve que, quelle que soit la charge, la forme de la courbe sera toujours la même pour des valeurs constantes de b et de f.

De l'équation (6) $Q = \frac{\pi b}{2 f}$, on déduit :

Plus f est grand, plus Q est petit; il ne faut donc pas prendre les points d'appui de la courbe trop bas; généralement on prend f entre $^{26}/_{10}$ et $^{26}/_{15}$.

Tension du cable.

Chaque tension se décompose en deux, l'une horizontale constante et égale à $\frac{\pi b}{2 f}$, l'autre verticale et sans cesse croissante à mesure que l'on s'éloigne du sommet de la courbe.

Nous avons trouvé (équation 2) :

$$t_n \sin. \alpha_n = (n + 1) p$$

Si l'on recherchait l'équation de la courbe correspondant à cette formule, on aurait :

$$t_n \sin. \alpha_n = y$$
$$n = x$$

d'où : $$y = p x + p$$

équation d'une ligne droite.

Soient donc A B (*fig.* 19) une horizontale $= b$; B C une verticale égale à la charge totale π sur la demi-chaîne; joignons A C. A C est le lieu géométrique des extrémités des lignes qui expriment les tensions.

Soient mp une perpendiculaire abaissée d'un point de la

courbe sur A C, et Y la valeur de la tension qu'elle représente, on a :

$$mp : Bc :: Ap : AB$$

ou :

$$Y : \pi :: x : b$$

d'où :

$$Y = \frac{\pi x}{b} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

La tension verticale, en un point quelconque de la courbe, est égale au poids total multiplié par l'abcisse de ce point et divisé par b.

Soit t_m la tension en un point quelconque, on a :

$$t_m = \sqrt{Q^2 + Y^2}$$

$$= \sqrt{\frac{\pi^2 b^2}{4 f^2} + \frac{\pi^2 x^2}{b^2}} \quad \ldots \quad (9)$$

La tension la plus importante à connaître, est celle du point A (*fig.* 20), car c'est la plus forte; or, pour A, on a :

$$x = b$$

$$T = \sqrt{\frac{\pi^2 b^2}{4 f^2} + \frac{\pi^2 b^2}{b^2}}$$

$$= \pi \sqrt{\frac{b^2}{4 f^2} + 1} \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

Épaisseur de la chaîne.

Dans le cas où l'épaisseur de la chaîne est uniforme, il faut qu'elle soit suffisante pour résister au point le plus chargé A.

Soient S la section de la chaîne en mètres quarrés, P le poids sous la traction duquel 1 mètre quarré se rompt : $\frac{P}{4}$ est le poids qu'il faut faire supporter.

La section doit être égale à autant de fois 1 mètre quarré que $\frac{P}{4}$ est contenu de fois dans la tension *maxima*,

on a donc :

$$S = \frac{T}{1/_4 P} = \frac{4\pi}{P} \sqrt{1 + \frac{b^2}{4f^2}} \ldots (11)$$

Longueur des tiges de suspension.

On a la formule (équation 7) :

$$y = \frac{f x^2}{b^2}$$

Donnant à x les valeurs des distances, au milieu du pont, des différents points du tablier où on veut accrocher les tiges, on obtient, pour longueurs des tiges, les valeurs correspondantes de y.

Épaisseur des tiges de suspension.

Si on divise le poids total du pont par le nombre des tiges de suspension, on obtient la charge de chaque tige, et on calcule sa section comme précédemment.

Manière simple d'arriver aux mêmes résultats.

Soient A m (*fig.* 20) la courbe de la chaîne, et T la tension en A. On prolonge T jusqu'à sa rencontre au point C avec m A'. Q et T, tirant l'un en Cm et l'autre en CA, doivent faire équilibre à un système de forces parallèles p appliquées aux différents points de la courbe entre m et A, également espacés, et ayant pour résultante appliquée au milieu de m A'.

Le point C de rencontre de m A' avec T doit donc être sur le milieu de m A'.

Décomposons T en une verticale T sin. α.
une horizontale T cos. α.

Les quatre forces Q, π, T sin. α et T cos. α étant en équilibre, on a :

$$Q = T \cos. \alpha$$
$$\pi = T \sin. \alpha$$

d'où : $$\tang. \alpha = \frac{\pi}{Q}$$

on a : $$AA' = f, \quad mA' = b, \quad cA' = cm = \frac{b}{2}$$

Dans le triangle ACA', on a :

$$\text{tang.}\ \alpha = \frac{AA'}{CA'} = \frac{2f}{b}$$

d'où : $$\frac{2f}{b} = \frac{\pi}{Q}$$

et : $$Q = \frac{\pi b}{2f}$$

Pour avoir T, on a :

$$T = \frac{\pi}{\sin.\ \alpha}$$

$$\text{tang.}\ \alpha = \frac{\sin.\ \alpha}{\cos.\ \alpha} = \frac{2f}{b}$$

d'où : $$\frac{b \sin.\alpha}{2f} = \cos.\ \alpha$$

Or : $\cos.^2 \alpha + \sin.^2 \alpha = 1$

donc : $$\frac{b^2 \sin.^2 \alpha}{4f^2} + \sin.^2 \alpha = 1$$

$$\sin.^2 \alpha \left(\frac{b^2}{4f^2} + 1\right) = 1$$

$$\frac{1}{\sin.^2 \alpha} = \sqrt{1 + \frac{b^2}{4f^2}}$$

$$T = \frac{\pi}{\sin.\ \alpha} = \pi \sqrt{1 + \frac{b^2}{4f^2}}$$

$$= \sqrt{\pi^2 + \frac{(b\pi)^2}{4f^2}}$$

$$= \sqrt{\pi^2 + Q^2}$$

Cette méthode est bonne à employer quand on sait que :

1° La courbe est une parabole ;

2° La tension va en augmentant depuis le point m jusqu'au point A.

Tension extérieure.

Soient A B C (*fig.* 21) la direction de la chaîne, hors du pont, après le point A ; T' un poids faisant équilibre à la traction qu'elle éprouve au point B. S'il n'y a pas de frottement, T' est égal à la tension du point A, et on a :

$$T' = T$$

S'il y a frottement, T' est plus petit que T, et on a :

$$T' < T.$$

Décomposons T', au point C, en deux :

Une verticale T' sin. α,

Une horizontale T' cos. α.

Soit P une force verticale appliquée en C pour établir l'équilibre.

Si on suppose au point C une résistance B horizontale suffisante, on a pour l'équilibre :

$$P = T' \sin. \alpha.$$

Si l'on veut éviter l'action de T' cos. α sur la pile qui supporte les cables, on prend la résultante R des deux forces P et T' cos. α, et on oppose une résistance dans ce sens. Si α' est l'angle de R avec T' cos. α, on a :

$$R^2 = P^2 + T'^2 \cos.^2 \alpha$$

d'où :

$$R = \sqrt{P^2 + T'^2 \cos.^2 \alpha}$$

$$P \sin. \alpha' = R$$

$P = \sin. \alpha$

$$\sin. \alpha' = \frac{R}{P} = \sqrt{1 + \frac{T'^2 \cos.^2 \alpha}{T'^2 \sin.^2 \alpha}}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{1}{\text{tang.}^2 \alpha}}$$

Longueur de la chaîne.

C'est la longueur d'un arc de parabole, c'est-à-dire :

$$\text{Longueur} = 2b + \frac{4f^2}{3b} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Dilatation de la chaîne.

Lorsque la température varie, la longueur de la chaîne varie aussi, et alors son sommet baisse et monte suivant la variation.

Soient t la température correspondant à la longueur l;

$t+d$ la température correspondant à un accroissement de longueur $\delta\, d\, l$, δ étant le coefficient de dilatation pour un degré du thermomètre;

f la flèche correspondant à l, $f+f'$ celle correspondant à $l+\delta\, d\, l$.

On a pour longueur de la chaîne à la température $t+d$:

$$l(1+\delta d) = 2\,b + \frac{4\,(f+f')^2}{3\,b}$$

Résolvant par rapport à f', et observant que f' étant très-petit, f'^2 est négligeable, il vient :

$$l(1+\delta d) = 2b + \frac{4\,f^2 + 8\,ff'}{3b}$$

$$l + l\,\delta\, d = 2\,b + \frac{4\,f^2}{3\,b} + \frac{8\,ff'}{3b}$$

Remarquant que l'on a : $$l = \frac{4\,f^2}{3b} + 2\,b$$

il vient : $$l\,\delta\, d = \frac{8\,ff'}{3\,b}$$

et : $$f' = \frac{3\,b\,l\,\delta\, d}{8\,f} \quad . \;\; . \;\; . \;\; . \quad (13)$$

Etablissement d'un pont suspendu.

La largeur entre les culées étant donnée, on détermine le nombre des piles d'après les considérations suivantes :

Le pont peut être d'une, deux, trois, etc., travées.

Quel est le nombre des travées correspondant au *minimum* de dépense? telle est la question à résoudre.

On détermine d'abord entre quels nombres doit se trouver approximativement le nombre des travées. Cela fait, on re-

marque que, quel que soit le nombre des travées, la dépense des culées, du tablier et des tiges de suspension est constante.

Il n'y a donc lieu à calculs que pour la chaîne, les piles et les fondations de la chaîne.

On fait le calcul de la dépense de ces trois objets pour les différents nombres parmi lesquels doit se trouver le nombre des travées, et l'on adopte le plus économique.

Il y a plusieurs manières de faire le calcul de la dépense pour le cable seulement, suivant que l'on adopte différents points pour sommet de la courbe.

Soit par exemple AB (*fig.* 22) la largeur d'une rivière sur laquelle on veut établir un pont, et soit proposé d'essayer à mettre deux travées.

Soit la flèche $f = {}^1/_{10}\ 2\,b$.

Il y a plusieurs valeurs pour b, et il faut trouver celle pour laquelle la dépense est *minima*.

1° On peut supposer $b = ac'$, et alors mettre au milieu de la rivière une colonne s'élevant d'une hauteur bc' au-dessus de ac', égale à ${}^1/_{10}\ 2\,b = {}^1/_5\ ac'$.

Dans ce cas, le sommet sera au point a, et la traction sera horizontale *minima*, et dirigée suivant ac'. Il y aura économie pour les fondations de la chaîne, mais hauteur *maxima* à la colonne, et section *maxima* à la chaîne; car, dans ce cas, la section de la chaîne sera la même que s'il n'y avait pas de pile au milieu.

2° b peut être plus petit que ac'; pour cela, il suffit de prendre le sommet en un point quelconque d situé entre a et c'.

Soit e le milieu de ac'. Si d est situé entre a et e, on a $b'c' = {}^1/_5\ c'd < bc'$, et la chaîne vient rencontrer la culée en un point a' situé au-dessus de a.

Si le point d est situé entre e et c', c'est le point a' qui est le plus élevé.

Dans les deux cas, la tension de la chaîne est la même que celle d'une chaîne pour une travée $= 2\,c'd$.

Le premier cas s'adopte de préférence au second, parce que la traction de la chaîne en b' est équilibrée par celle de l'autre portion du pont, et la traction en a' se trouve d'autant moindre que aa' est plus petit.

Par rapport à la chaîne ab, on a un surbaissement de colonne bb', un surhaussement de culée aa', une augmentation de tension en a', et une diminution de tension en b', d'où une diminution dans la section des chaînes.

Si le sommet est situé en e, alors on a $b''c' = a''a = {}^1/_5\, ec'$. La traction *maxima* a diminué, la pile a baissé, mais la culée s'est élevée, et la traction en a'' a augmenté.

Construction.

On a employé dans l'origine le fer forgé pour la construction des cables, mais, depuis plusieurs années, on l'a complètement remplacé par le fil de fer, dont la qualité est toujours de beaucoup supérieure et qui ne présente pas l'inconvénient des pailles que l'on rencontre dans le fer en barres.

Le fil de fer, néanmoins, présente un inconvénient que l'on n'évite qu'au moyen des plus grands soins dans l'assemblage des fils; c'est de se tendre inégalement dans la confection des cables, et, partant, de laisser plus de charge à certains fils qu'à certains autres.

D'autre part, le fil de fer est fort cher, et comme il ne comporte que du fer de première qualité, il en résulte que les fers fabriqués par la méthode anglaise se trouvent exclus.

C'était donc un beau problème à résoudre, que de fabriquer des cables de ponts suspendus avec ces derniers fers aussi bons que les cables en fil de fer. Ce problème a été résolu par MM. *Muel Doublat* et *Eugène Flachat*, comme il est facile de s'en assurer au pont de Suresne, près Paris.

Ces messieurs ont eu l'heureuse idée d'employer à la confection des cables, les fers plats laminés qui portent, dans les forges, les noms de *feuillards* ou *cercles*.

Les avantages qu'ils présentent sur les fils de fer sont les suivants :

1° Prix de revient moindre, bien que l'on en mette un plus grand poids, la résistance de ce fer n'étant pas aussi grande que celle des fils de fer.

2° Assemblage facile et tirage égal pour toutes les bandes.

Les bandes de fer ne pouvant avoir la même longueur que les fils de fer, lesquels sont tous de la même longueur que le cable, on les dispose les unes au-dessus des autres de la manière suivante :

Soit 2 mètres l'espacement entre les tiges de suspension. Tous les deux mètres, on enferme le cable dans un petit étrier en fonte fortement serré, de sorte que chaque bande se trouve pressée, sur sa longueur, par quatre ou cinq étriers.

On ne fait pas commencer toutes les bandes d'un même point; suivant le nombre, les bandes superposées qu'il doit y

avoir pour obtenir la résistance voulue, les origines des bandes sont espacées entre elles de un ou deux étriers au plus. Il en résulte qu'elles entrent sur une face et sortent sur l'autre; on s'arrange de manière que les extrémités des bandes se trouvent à l'endroit des étriers, à quelques centimètres en dehors.

Par cette disposition, il est certain que si les étriers se desserraient, les cables s'allongeraient, et le pont partirait; il est donc de la plus haute importance de bien confectionner ces parties du cable.

Nous renvoyons aux figures pour les détails des travaux de maçonnerie.

Les tabliers se composent généralement d'une série de poutres transversales fixées aux extrémités des tiges de suspension, et recouvertes de madriers longitudinaux, sur lesquels on établit des madriers transversaux et faciles à changer, sur lesquels s'opère l'usure faite par les voitures et les chevaux.

Pour anéantir autant que possible les oscillations provenant du passage et des coups de vent sur les ponts suspendus, on construit les garde-fous au moyen de croix de St-André, en bois, buttant les unes contre les autres, et séparées par des boulons verticaux, qui opèrent un fort serrage sur les deux lignes de poutres entre lesquelles sont placées ces croix.

Les *figures* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 (*Pl.* XXV), représentent en plan, coupe, élévation et détails, le pont suspendu établi à Conflans-Ste.-Honorine, par M. Séguin.

QUATRIÈME PARTIE.

EXPLOITATION DES MINES ET MÉTALLURGIE.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION.

On donne le nom de *mine*, à toute excavation creusée dans le sein de la terre pour en retirer les substances minérales utiles. On donne le nom de *carrière*, à une excavation faite à la surface. On appelle *cavage*, une excavation faite dans le flanc d'une colline pour en retirer du plâtre ou de la pierre calcaire.

On donne le nom de *houillère*, à une mine de houille ; le nom de *tourbière*, à une mine de tourbe. Les grandes excavations se divisent en puits, en galeries, cheminées et chambres.

On donne le nom de *puits*, à une excavation prismatique dont l'axe est très-allongé et perpendiculaire, ou très-incliné à l'horizon. On donne le nom de *galerie*, à une excavation prismatique dont l'axe est horizontal, ou peu incliné à l'horizon.

Les cheminées sont des excavations qui tiennent le milieu entre les puits et les galeries.

NOTIONS HISTORIQUES ET STATISTIQUES SUR LES MINES.

L'origine de l'exploitation des mines remonte à la plus haute antiquité ; elle se perd dans la nuit des temps ; il en est question dans les livres les plus anciens. Job, dans l'ancien testament, en parle ; Hérodote parle aussi de l'exploitation des mines chez les Egyptiens.

Les premiers métaux que l'homme retira du sein de la terre furent l'or et l'argent, cela provient sans doute de ce qu'il fut frappé de leur éclat ; le fer ne fut pas d'abord exploité. On remarque d'ailleurs que les armes des anciens étaient en cuivre ou en airain (alliage de cuivre et d'étain). L'Egypte, l'Espagne, les Indes et la Syrie furent les premiers pays que l'on exploita.

Les Phéniciens exploitaient, dans l'île de Taso, des mines d'argent; ensuite on exploita le fer à l'île d'Elbe et en Syrie. On exploita l'or dans l'Asie-Mineure à l'état de paillettes que les fleuves entraînaient: on les recueillait au moyen de la toison.

Le mari de Didon, en son voyage en Espagne, rapporta des métaux précieux qui servirent à fonder Carthage. Plus tard, les Carthaginois, devenus maîtres de l'Espagne, exploitèrent avec une grande activité les mines d'or et d'argent qui s'y rencontrèrent.

Carthage étant détruite par les Romains, ils continuèrent les travaux des mines. Sous le règne d'Auguste, on retirait le fer de l'île d'Elbe; on l'exploitait aussi en Syrie, en Galicie, en Biscaye, dans l'Asie-Mineure et en Sibérie.

Le plomb s'obtenait en Espagne et en Angleterre.

Le cuivre se retirait de l'Espagne, de l'Angleterre et de l'île de Chypre.

L'étain provenait d'Espagne et d'Angleterre.

Le mercure venait d'Espagne, d'Ephèse et de l'Asie-Mineure.

Les anciens n'exploitaient pas le charbon de terre, ce sont les Anglais, qui, les premiers, commencèrent à l'exploiter en 1280.

Procédés des anciens. — Ils ne connaissaient ni la poudre ni les machines à vapeur, ils y suppléaient en employant une immense quantité de bras d'hommes. L'on peut s'en faire une idée en sachant qu'Auguste rendit une ordonnance, à Rome, qui défendait d'employer dans les mines plus de 5000 *ouvriers.*

HISTOIRE DES MINES DANS LES TEMPS MODERNES.

On la divise en trois époques :

La première date de la décadence de l'empire romain, jusque l'année 968, époque de la découverte des célèbres mines du Hartz;

La deuxième date de 968 jusque 1492, époque de la découverte de l'Amérique;

La troisième date depuis 1492 jusqu'à nos jours.

Première époque. — Quand les Romains abandonnèrent les mines d'Espagne, le siège des grandes exploitations fut transporté en Allemagne vers le VIme siècle, sur les bords du Rhin, en Tyrol, en Moravie, Bohême, Transylvanie.

Les mines de Saxe furent exploitées vers le XIe siècle. Vers le milieu du XIIIe, on commença à exploiter la houille en Angleterre.

Deuxième époque. — En 1695 furent découvertes les mines d'or du Brésil. Les mines d'Amérique tombèrent en décadence depuis 1810 jusque 1825.

Troisième époque — En 1779 on abolit en Ecosse l'esclavage des mineurs. En 1814 l'on découvrit en Russie, dans le Caucase, les riches mines d'or et de platine.

Perfectionnements apportés aux procédés.

En 1622, la poudre fut employée la première fois dans les mines.

En 1700, les premières machines à vapeur furent employées.

En 1760, on apporta d'heureux perfectionnements dans les procédés de ventilation pour les mines de charbon de terre.

En 1780, on se servit des machines de Watt.

En 1816, on commença à se servir des lampes de H. Davy.

En 1834, grands perfectionnements dans les moyens de sondage.

Etat actuel des mines et leurs produits.

Nous empruntons la statistique suivante à l'ouvrage de M. Burat (*Géologie appliquée*).

Les états de l'Europe ont été classés ainsi qu'il suit d'après l'évaluation de leurs produits en métaux bruts.

	Millions de francs.
Angleterre.	440
Russie et Pologne.	135
France.	132
Autriche.	67
Confédération Germanique.	62
Espagne.	54
Suède et Norwège.	54
Prusse.	49
Belgique.	40
Toscane.	15
Piémont et Savoie.	11
Danemarck.	9

Si l'on détaille actuellement ces valeurs, dont le total s'élève à plus d'un milliard, on reconnaît qu'il y a des états qui produisent à eux seuls la presque totalité de certains métaux.

	ÉTAIN.	CUIVRE.	MERCURE.	ZINC.	PLOMB.	ARGENT.	OR.	FER.	FONTE.
	quint.	quint.	quint.	quint.	quint.	marcs.	marcs.	quintaux.	quintaux.
Iles Britanniques.	45,000	144,500	»	25,000	275,600	12,000	»	5,690,000	7,200,000
Russie et Pologne.	»	59,400	»	50,000	7,000	77,000	24,000	1,200,000	2,000,000
France.	»	1,000	»	»	4,700	6,327	»	2,048,000	3,085,000
Autriche.	380	42,000	5,000	900	54,000	85,000	4,500	850,000	?
Suède et Norwège.	750	14,800	»	5,500	500	20,700	7	1,000,000	?
Espagne.	»	500	20,000	1,000	250,000	»	»	180,000	?
Prusse.	»	6,400	»	6,000	71,000	20,000	»	800,000	?
Confédération Germanique.	5,500	25,000	7,600	»	96,000	105,000	120	820,000	?
Belgique et Pays-Bas.	»	»	»	20,000	4,000	700	»	600,000	1,550,000
Piémont, Suisse et Savoie.	»	»	»	?	4,000	2,500	25	255,000	?
Danemarck.	»	8,500	»	»	»	»	»	155,000	?
Toscane, Ile-d'Elbe et Italie.	»	»	»	»	»	»	»	280,000	?

La production des autres parties du monde n'est connue qu'autant qu'elles sont liées par des rapports commerciaux avec l'Europe.

Les exploitations des Amériques, par exemple, fournissent les 11/14 de l'or et de l'argent extraits annuellement; le Pérou produit la plus grande partie du platine employé dans les arts; le Chili et le Mexique, une quantité de mercure assez notable pour que l'importation européenne, pour le traitement des minerais d'or et d'argent, ait subi une diminution sensible. Mais dans les riches contrées de l'Asie, la production se suffit en grande partie à elle-même sans que nous en connaissions les moyens. La Chine, par exemple, fabrique abondamment le fer et le cuivre. Banca et Malacca, dans les Indes, exportent une quantité d'étain évaluée au double de la production européenne.

Le tableau suivant donnera une idée de la répartition des mines d'or et d'argent exploitées actuellement.

		ARGENT.	OR.
		marcs.	marcs.
AMÉRIQUES.	Brésil.	»	22,000
	Mexique.	2,196,000	16,000
	Pérou.	600,000	4,000
	Buénos-Ayres. . .	525,000	2,000
	Chili.	250,000	11,500
	Colombie.	1,200	18,000
	Etats-Unis.	130,000	10,000
ASIE. (Non compris la Russie.)	Thibet.	?	15,000
	Archipel Indien. .	?	5,000
AFRIQUE.	Côtes Méridionales.	?	16,000

En France, on exploite environ trois cents mines de combustibles minéraux; et vingt-deux mille ouvriers en extraient annuellement trente-deux millions de quintaux métriques. Dans les carrières de toute nature, une population de soixante et dix mille ouvriers sont employés à l'extraction. Le produit annuel est d'environ cinquante millions de francs.

Pour l'année 1840, la production minérale de la France peut être appréciée par les chiffres suivants :

	q. m.	Valeur en francs.
Houille.	32,000,000	30,000,000
Tourbe.	4,472,000	3,652,000
Bitume.	25,000	456,000
Sel gemme.	500,000	4,600,000
Terres alunifères. . . .	120,000	1,780,000
Carrières de toute espèce. . .	»	50,000,000
Minerais de fer. . . .	40,091,000	13.500,000
Minerais divers. . . .	280,000	626,000

Cette valeur est augmentée par les arts métallurgiques :

Pour l'industrie du fer, de. . . . 116,630,000 fr.

Pour les autres métaux. 756,000

C'est-à-dire à plus de 220 millions.

CHAPITRE II.

EXPOSÉ DES MÉTHODES DE RECHERCHES DES MINERAIS.

NOTIONS GÉNÉRALES.

On donne le nom de *roches* à des masses minérales qui couvrent une grande étendue de surface. On distingue les roches massives, qui se présentent en masses informes, et les roches stratifiées, qui se composent de couches d'une grande étendue en longueur et en largeur, eu égard à leur épaisseur.

Les roches massives forment le noyau des plus hautes montagnes, la base sur laquelle reposent les roches stratifiées. Les roches stratifiées forment, autour des montagnes, comme un manteau qui les enveloppe de toutes parts, et s'étendent ensuite dans la plaine.

Roches dans lesquelles domine le caractère du feldspath.

Les roches granitiques sont composées de différents feldspath, dont nous allons donner la composition. Ces feldspath ont beaucoup d'analogie entre eux; aussi sont-ils souvent confondus sous une seule dénomination. Leur caractère fondamental est de fondre en émail blanc au chalumeau; ils rayent le verre, font feu au briquet, et présentent, à l'état de cristaux, deux sens de cassure.

Feldspath orthose. — Il a pour formule : $KS^3 + 3\,AS^3$, et est composé de :

Silice.	66	100 (en poids.)
Alumine.	18	
Potasse.	16	

Il a une pesanteur spécifique de 2,39 à 2,58. Le prisme oblique d'où il dérive a des angles de 120° 60' et 112° 68'. — Eclat vitreux.

Feldspath albite. — Il a pour formule : $NS^3 + 3AS^3$, et est composé de :

Silice.	70	100 (en poids).
Alumine.	19	
Soude.	11	

Sa pesanteur spécifique est de 2,61. Il dérive d'un prisme dont les angles sont de 115° 65' et 118° 62'. — Dans les cristaux de l'albite, le plan diagonal coupe les bases du prisme suivant des angles de 86° 30' et 93° 30', tandis que, pour l'orthose, les bases sont coupées diagonalement à angles droits. — Eclat nacré.

Feldspath ryakolithe. — Contient de la potasse, de la soude et de la magnésie. — Eclat vitreux. — Très-fendillé. — Pesanteur spécifique : 2,57.

Feldspath labrador. — Il a une pesanteur spécifique de 2,69 à 2,75. — Attaquable par les acides, ce qui n'a pas lieu pour les feldspath précédents. — Il est très-lamelleux. — Son éclat chatoyant suffit pour le distinguer. — Il a pour formule : $NS^3 + 3CS + 12AS$, et est composé de soude, de chaux, d'alumine et de silice.

Feldspath jade. — Grande tenacité. — Rarement cristallisé. — Il se trouve en masse compacte, blanchâtre. — Il a à peu près la même composition que le labrador. — Pesanteur spécifique : 2.

Triphane. — Aspect verdâtre ou grisâtre. — Cristallisé. — Eclat gras et nacré. — Pesanteur spécifique : 3,19. — Sa formule, d'après Berzélius, est : $\dddot{A}\,\dddot{S}^2 + \dot{L}\,\dddot{S}$.

Oligoklase. — Il a pour formule : $\dddot{A}\,\dddot{S}^2 + (\dot{N}a, K, \dot{C}a, Ma)\,\dddot{S}$. — Il est difficile à distinguer du labrador.

Néphéline. — Silicate alumino-alcalin, dérivant d'un prisme régulier hexaèdre. — Sa formule est : $3ASi + NaSi$. — Pesanteur spécifique : 2,56 à 2,76.

Mésotype. — Substance blanche, nacrée. — Dérivant d'un prisme rhomboïdal. — Sa pesanteur spécifique est de 2,24 à 2,56. — Il donne de l'eau par calcination. — Il a pour formule : $3ASi + NaSi^3 + 2Aq$.

Anolcyre. — Cristaux trapézoèdres dérivant du cube. — Soluble dans les acides. — Contient de l'eau. — Il a pour formule : $3\,ASi + NaSi^2 + 6\,\dot{A}q$. — Pesanteur spécifique : 2,58.

Amphygène. — Cristaux trapézoèdres. — Il se trouve dans les laves en cristaux très-nets. — Infusible. — Sa formule est : $3\,\dot{A}Si^2 + KSi^2$. — Pesanteur spécifique : 2,37 à 2,48.

Sodalithe. — Dodécaèdre rhomboïdal, dérivant du cube. — Sa formule est : $2\,ASi + NaSi^2$. — Contient aussi du chlore en proportion qu'on n'a pas encore définie. — Pesanteur spécifique : 2,35 à 2,50.

Haüyne. — Substance bleue vitreuse. — Elle perd sa couleur par les acides. — Pesanteur spécifique : 2,47. — Substance encore mal connue.

DÉFINITION DES ROCHES.

Granit. — Composé de feldspath, quartz et mica. Le feldspath est orthose ou albite; on trouve les deux à la fois, mais le plus ordinairement l'orthose, qui est blanc; l'albite est rougeâtre. Le feldspath, dans cette roche, est cristallisé, c'est une condition essentielle.

Le granit renferme des substances disséminées, telles que tourmaline, pinite, grenat, amphibole, sphène, étain oxidé, molybdène sulfuré, triphane, corindon, émeraude, pyrite de fer, titane oxidé, fer oxidulé, uranite, chaux phosphatée, topaze, fer oligiste.

Le mica est feuilleté et de composition très-variable; il est noir, verdâtre, blanc, bronzé, etc. Lorsque le mica est remplacé par du talc, le granit porte le nom de *protogine*. Cette dernière roche est moins abondante que le granit; on la rencontre principalement dans les Alpes.

L'oligoklase se trouve souvent dans le granit ; la roche porte alors le nom de granit avec oligoklase.

Gneiss (granit veiné de Saussure). — Le protogène, par sa structure rubanée, fait passer le granit au gneiss. Le mica, devenant aussi élément essentiel dans le granit, fait passer aussi cette roche au gneiss. On trouve dans les gneiss moins de minéraux que dans le granit. Les schistes argileux peuvent aussi se changer en gneiss au contact de roches ignées. Ces roches modifiées sont alors appelées *métamorphiques*.

Eurite. — Quand la structure du granit est fine et porphyroïde, la roche passe à l'eurite. La pâte seule du feldspath

est intacte; aussi l'eurite porte-t-il le nom de feldspath compact mélangé.

Granit à grandes parties. — Composé de grands cristaux de ces éléments. — Cette roche, qui porte aussi le nom de *granit graphique*, forme des masses peu considérables. Elle passe à la *pegmatite*, composée de quartz, de feldspath, et quelquefois d'un peu de mica. Le quartz est en cristaux orientés dans le même sens. — Le clivage du feldspath se prolonge dans les cristaux de quartz; ce qui n'a pas lieu pour le granit ordinaire. Nous avons trouvé cette roche en abondance aux environs d'Autun, dans le département de Saône-et-Loire. On y trouve du titane rutile, de l'émeraude, de l'étain oxidé et de la tourmaline.

Granit leptinite. — Composé de feldspath et quartz, mais le premier en cristaux très-petits. — La cassure est grenue. — On y trouve de l'amphibole, topaze, grenat rouge, pyrites cuivreuses: quand il n'y a presque pas de quartz, la roche passe au feldspath compact.

Kaolin. — Produit de la décomposition du feldspath orthose. La partie essentielle du kaolin est une combinaison de silice et d'alumine. — Il provient des granits à grandes parties ou des leptinites. Il est très-abondant aux environs de Limoges, dans la Haute-Vienne.

Hyalomicte. — Composé de quartz et de mica. C'est un granit où le feldspath est très-rare. — On y rencontre de l'étain oxidé. — Roche abondante aux environs de Marmagne, près d'Autun.

Hyalotourmalite. — Quartz et tourmaline. — La tourmaline est ici l'élément essentiel. — On y rencontre aussi de l'étain oxidé.

Topazogène. — Tourmaline, quartz et topaze.

Syénite. — Composé grenu de quartz, feldspath, amphibole et mica. L'amphibole est l'élément essentiel. — Le feldspath est ou albite ou orthose. La syénite peut être porphyroïde ou schisteuse comme le granit et le gneiss. — On y rencontre du zircon, titane, pyroxène, augite, etc.

Porphyres quartzifères. — Ces roches ressemblent aux eurites. Les porphyres ont généralement une couleur rougeâtre. Le quartz est souvent plus visiblement cristallisé que dans le granit. — Les deux pointements du cristal se sont rapprochés l'un de l'autre; ils sont très-brillants et très-limpides, ce qui n'a pas souvent lieu dans le granit. — Le feldspath est

toujours compact, semblable à une pâte au milieu de laquelle aurait cristallisé le quartz. — Dans beaucoup de cas, le feldspath est décomposé; c'est alors un porphyre terreux quartzifère.

Argilophyre. — Quand les porphyres sont très-terreux, ils passent aux argilophyres.

On rencontre dans les porphyres du mica, de l'amphibole et du spath-fluor; dans ce cas, la roche est colorée en violet. — Les feldspath orthose et albite se rencontrent dans la pâte ou dans les cristaux disséminés. Quelquefois les cristaux sont orthoses, et la pâte est albite.

Porphyres bruns. — Ils diffèrent un peu des précédents. On n'y trouve disséminés que des cristaux d'albite, d'amphibole et de mica. Le quartz y est moins abondant que dans les porphyres rouges.

Rétinite. — Dans la dégradation des porphyres, la cassure devient résineuse ou conchoïde en grand; cette roche prend alors le nom de rétinite. Elle passe aux porphyres quartzifères d'une manière insensible (Saxe). — Ce porphyre devient aussi globuleux, fusible au chalumeau, blanc avec boursoufflement. — Les grains de quartz sont généralement fondus avec la masse.

Feldspath compact porphyroïde. — Ils sont mêlés d'amphibole, et constituent alors le porphyre rouge antique et vert (ophite).

Pétrosilex. — C'est la pâte du porphyre quartzifère isolée. On donne ce nom à toutes les masses de feldspath compact. — C'est en réalité de l'eurite; mais, dans ce cas, les éléments du granit sont à peine discernables. — Les feldspath compacts prennent la structure glanduleuse (granit de Corse), et la structure bréchiforme : ce sont alors des pyromérides.

Roches trachytiques. — Le feldspath domine encore dans ces roches, ce qui les rend âpres au toucher. C'est à cause de cette propriété que Haüy les a nommées trachytiques. Elles sont composées de ryakolite.

On distingue le *trachyte granitoïde*, le *trachyte micacé amphibolique.* — Composé de ryakolite, amphibole, hornblende et de mica noir. — Le *trachyte porphyroïde* : le ryakolite est en gros cristaux disséminés dans une pâte de ryakolite. — On rencontre dans ces roches du fer oligiste, sphène et amphibole disséminé.

Porphyres trachytiques (bendant). — C'est un passage entre

les porphyres quartzifères. — Le *trachyte molaire :* la silice y est disséminée ; passage insensible avec le précédent. — Le *trachyte scoriacé :* structure bulleuse ; il constitue certaines laves. — Dans les trachytes, le feldspath présente quelquefois le caractère de l'albite au lieu du ryakolite (trachytes de Hongrie).

Domite. — Trachyte terreux, avec cristaux de ryakolite.

Perlite. — Trachyte à structure testacée, ayant l'éclat perlé.

Obsidienne. — Feldspath à aspect vitreux, ayant l'aspect des laitiers de haut-fourneau. — L'obsidienne est une dégradation des trachytes.

Pierre ponce. — Dégradation de l'obsidienne. — La pierre ponce a le caractère des roches trachytiques poussé à la dernière limite.

Roches amphiboliques et pyroxéniques. — Dans les roches que nous venons de décrire, qui sont des silico-aluminates alcalins, le feldspath domine toujours ; celles que nous allons voir sont aussi formées de silico-aluminate, mais le feldspath ne leur donne plus son caractère. — Leur couleur provient d'un autre élément, qui est un bi-silicate de magnésie et de fer. — La teinte de ces roches est verdâtre foncée.

Amphibole. — On distingue deux espèces d'amphibole : *trémalite* et *hornblende.* Le premier est un bi-silicate de chaux et de magnésie ; le second, un bi-silicate de chaux et de fer.

Ils ont pour formule minéralogique :

Amphybole
- Trémalite. . . . . $\dot{M}^3 \dddot{S}^2 + \dot{C}a \dddot{S}$
- Hornblende. . . . $\dot{F}^3 \dddot{S}^2 + \dot{C}a \dddot{S}$

L'hornblende donne la couleur verte. — C'est une substance fibreuse très-tenace (blende cornée des Allemands, hornblende).

L'amphibole dérive d'un prisme rhomboïdal dont les angles sont de 130° 15' et 124° 30'.

Pyroxène. — On distingue :

Pyroxène
- Diopside. . . . . $\dot{M}^3 \dddot{S}^3 + \dot{C}a^3 \dddot{S}^2$
- Augite. . . . . . $\dot{F}^3 \dddot{S}^2 + \dot{C}a^3 \dddot{S}^2$
- Hédenbergite. . . ?

Ces formules peuvent varier dans plusieurs cas; elles représentent ici la composition normale.

Le pyroxène cristallise à peu près dans le même système que l'amphibole, sous un angle de 101° et 87, 5. Ces cristaux sont clivables. Dans l'amphibole, le clivage se fait parallèlement aux faces latérales. Dans le pyroxène, il y a plusieurs clivages parallèles aux faces (rares), et suivant les plans diagonaux et parallèles à la base. Il faut donc, pour distinguer nettement le pyroxène de l'amphibole, cliver le cristal avec attention et mesurer les angles. Le pyroxène augite est le plus abondant dans les roches.

Hypersthène. — Il a pour formule $\dot{F}^3 \dddot{S}^2 + \dot{M}^3 \dddot{S}^2$. Les angles du cristal sont de 88° et 92°, différence très-petite par rapport au pyroxène. — Eclat métalloïde, d'un blanc noirâtre. On peut encore, pour distinguer ces minéraux, avoir recours à la pesanteur spécifique, qui est de 3,28; celle de l'amphibole trématite, 2,19 à 3,15; hornblende, 3 à 3,35; pyroxène diopside, 3,25 à 3,34; augite, 3,10 à 3,15. L'hypersthène présente un clivage incliné de 90°, plus un clivage suivant le plan diagonal qui tronque l'angle aigu.

Ces substances sont inattaquables par les acides; fondent au chalumeau en un verre noirâtre. — L'amphibole se boursouffle un peu.

Diallage. — Substance verdâtre ou bleuâtre, mais pas aussi sombre que les précédentes : éclat métalloïde. Il a pour formule minéralogique : $4(\dot{M}^3, \dot{C}a^3, \dot{F}^3, \dot{M}^3n)\dddot{S}^2 + 3\ \dot{M}, \dot{H}^4$. Il a un clivage très-facile sur les faces, ce qui lui donne une structure très-foliacée : éclat chatoyant sur les clivages. Le diallage est rayé par une pointe d'acier, ce qui n'a pas lieu pour les précédents. Il donne de l'eau par la calcination. — Très-difficile à fondre, et difficilement attaquable par les acides. — Sa pesanteur est de 3,115 à 3,271.

Diorite. — Amphibole et albite. — L'albite est blanc dans ces roches, translucide sur les bords. L'amphibole est hornblende, un peu magnétique. — On trouve disséminés les minéraux suivants : quartz, mica, pyrites, fer oxidulé, oxide de titane.

Diorite porphyroïde. — Cristaux d'amphibole et d'albite disséminés dans l'une ou l'autre pâte. La pâte, qui est blanchâtre, est formée d'un mélange intime de ces deux substances. Les grains sont si fins qu'on ne peut les discerner.

Cornéenne. — Petits grains d'amphibole à cassure terreuse.

Dolérite. — Mélange grenu de labrador et de pyroxène, augite noir ou noirâtre. — Dans la cassure de cette roche, le labrador est en cristaux très-effilés, et d'un aspect nacré.

Porphyre pyroxénique ou mélaphyre. — Une partie de ses éléments sont indistincts. Le labrador souvent est en plus grande proportion que dans la dolérite. — On lui donne aussi le nom de *porphyre noir augite.* Attaquable par les acides, difficilement fusible. — Les cristaux du labrador sont des prismes à six faces, très-allongés, ils sont mâclés. Les clivages sont visibles dans les cristaux transparents. Ils ont quelquefois 27 millimètres (1 pouce) de longueur, et souvent deviennent indiscernables. Le mélaphyre est aussi amygdaloïde, et les géodes renferment du quartz, du spath calcaire, etc. — Cette roche est très-tenace.

Basalte. — Mélange grenu très-fin de labrador et de pyroxène noirâtre. — Renferme du péridot, de l'amphibole hornblende, pyroxène, fer titané, zircon, mica, pyrites, et des fragments de gneiss, de schiste et de calcaire. — Cette roche prend la division poliédrique qui se décompose aussi en boules.

L'herzolithe. — Cette roche est peu répandue, elle se forme toutes les fois que le pyroxène domine presque entièrement.— La cassure est lamelleuse.

Néphélinite. — Mélange grenu de néphéline, de pyroxène augite et de fer oxidulé magnétique. — Rarement cristallisé.

Leucitophyre. — Composée de pyroxène et d'analcyne. — Contient aussi du péridot. — Lorsqu'elle devient globuleuse, l'intérieur des géodes est tapissé de très-beaux cristaux d'analcyne et de pyroxène. — Cette roche constitue la montagne de la Summa, au Vésuve.

Sodalitophyre. — Composée de pyroxène et de sodalite. — Cette roche, qui constitue les laves du Vésuve, renferme du péridot disséminé. — La sodalite ressemble beaucoup à l'amphygène.

Haüynophyre. — Composée d'haüyne et de pyroxène. — Cette roche est peu répandue et par conséquent peu connue.

Roches hypersthéniques.

Hypérite. — Cette roche est formée d'hypersthène et de labrador; c'est un mélange grenu et souvent à gros grains. — Elle passe au *grunstein* (roche verte). — La cassure est esquilleuse.

Euphotide.—Mélange grenu de jade et de diallage.—La cou-

leur du diallage est très-variable : elle passe du gris au vert. — Difficile à fondre. — Ces substances sont mélangées très-confusément, et présentent la structure entrelacée.

Eclogithe. — Diallage et grenat rouge. Lorsque le diallage devient indistinct, le jade devient en pâte; c'est alors un porphyre (porphyre vert antique).

Trapps. — On désigne sous ce nom des roches composées de : albite, labrador, néphéline, analcyne, amphygène, sodalite et haüyne, mais ici la proportion de ces éléments est difficile à décrire. Les trapps se divisent en forme pseudo-régulière, et forment comme des escaliers, c'est de là que vient leur nom. On distingue deux catégories de roches trapéennes, celles qui perdent 3 p. 0/0 d'eau, et celles qui n'en perdent que 1 1/2 p. 0/0.

Serpentine. — Cette roche a pour formule minéralogique $2\,\dot{M}g^3\,\dddot{S}i^2 + 3\,\dot{M}g\,\dot{H}^2$. Sa couleur est verdâtre, blanchâtre, et tire aussi sur le noir verdâtre (ophiolite). Elle est quelquefois schistoïde, compacte, formant des plaques contournées et fibreuses. Elle se présente en masse et est accompagnée de conglomérats provenant des roches qu'elle traverse. — On reconnaît facilement ces sortes de roches aux contournements de leurs surfaces; elles paraissent être sorties du sein de la terre à l'état pâteux. — Elles sont grasses au toucher. — On y trouve des minéraux, tels que : diallage, fer oxidulé, fer chrômaté, brucite, pyrites ferrugineuses et cuivreuses, fer arsenical, or natif, platine natif (dans les monts Ourals), l'asbeste dans des petites fissures, les fibres sont, dans ce cas, perpendiculaires aux parois; amphibole hornblende, mica, grenat, jade. Le fer oxidulé s'y rencontre souvent en grandes masses, et rend la roche magnétique. — Les irruptions de serpentine ont été accompagnées de phénomènes chimiques, car les roches qui se trouvaient en contact, ont l'aspect verdâtre, et contiennent de la serpentine. — Cette roche se rencontre en très-grandes masses dans les Alpes.

Roches talqueuses. — Le talc a pour formule : $\dot{M}g$, $\dddot{S}i$. Il est coloré en vert par une certaine quantité de fer. — Le talc se trouve quelquefois isolé en masses lamelleuses. Cette roche peut facilement se couper. — Elle passe aux schistes talqueux, ou stéa-schistes, ou même encore talc-schistes. On y rencontre : du feldspath albite, grenat, amphibole actinote, diallage, fer oxidulé, disthène, tourmaline, dolomie, chlorospinèle, etc.

Listwanite. — Variété de schiste talqueux dans laquelle la dolomie se rencontre en grande quantité.

Schiste chloritique. — Ici le talc est remplacé par la chlorite qui a pour formule :

$$\left.\begin{matrix}\dot{M}g^3\\ \dot{F}e^3\end{matrix}\right\}\dddot{S}i + \dddot{A}\,L\,\dddot{S} + 2\,\dot{M}g\,H^2$$

Elle a le même caractère que le talc, quoique moins onctueuse au toucher.

Schistes verts. — Roches peu connues. — Cassure matte et souvent brillante à cause du mica et du talc qu'elles renferment. Elles ressemblent beaucoup à la serpentine, au schiste talqueux et chloritique. Elles contiennent très-peu d'eau, c'est un caractère qui peut aider à les reconnaître des roches précédentes.

Minette. — Roche dans laquelle le mica se trouve en masse.

Kersanton. — Mica mélangé de substances étrangères et surtout de cristaux de pinite.

Micaschiste. — Mica mélangé avec du quartz. — Quand le fer remplace le mica, on lui donne le nom d'*itabérite.* — On trouve dans le micaschiste, du feldspath, grenat, disthène, tourmaline, corindon, émeraude, titane rutile, graphite, etc.

Aventurine. — Quartz hyalin avec paillettes de mica. Le quartz est coloré en rouge ou en jaune.

Il est assez difficile de distinguer les schistes talqueux, chloritiques et micacés, car le mica est encore peu connu dans sa composition. Ces roches sont souvent à grains très-fins, et quand le mica est verdâtre, il ressemble beaucoup aux roches talqueuses. On ne doit donc pas attacher beaucoup d'importance à la distinction de ces trois roches.

Roches dans lesquelles domine le quartz.

Quartz grenu.—Ces roches passent aux grès.—*Silex*, se trouve principalement dans la craie. — Contient de l'eau. — *Quartz lydien :* se trouve en abondance en Lydie. — C'est un mélange noirâtre de silex et de matières arénacées. — *Jaspe*, silex mélangé.— *Meulière*, silex assez pur, présentant des cavités très-irrégulières, provenant du passage du gaz avant sa consolidation.

Roches calcaires.

Calcaire saccharoïde. — Les axes des cristaux sont orientés dans tous les sens ainsi que les clivages. La grosseur des grains est variable : ils ont de 1 à 2 décimètres (3 pouces 1/2 à 7 pouces) jusqu'à 1 à 2 centimètres (5 à 10 lignes), et 1 à 2 millimètres

(1/2 ligne à 1 ligne); ce dernier cas est le plus ordinaire. — Les cristaux sont encore de dimensions plus petites. — Le calcaire à gros grains est appelé lamellaire; et à petits grains, saccharoïde. Il contient du quartz, albite, amphibole, hornblende et trémalite; pyroxène, mica (marbre cipolin); dans ce cas, le calcaire est schisteux; grenat, pyrites, fer oxidulé, spinèle, etc.

Calcaire concrétionné. — C'est l'albâtre calcaire.

Calcaire compact. — Pierre lithographique. C'est le calcaire le plus pur; cassure conchoïde. La couleur est jaunâtre, provenant d'une certaine quantité de bitume qui vient surnager quand on dissout le calcaire dans un acide.

Calcaire lumakel. Contenant des coquilles. — *Calcaire grossier.* — *Calcaire d'eau douce*, qui ne contient que des coquilles d'eau douce. — *C. oolithique. C. pisolithique. C. crayeux. C. marneux. C. siliceux. C. bitumineux.*

Dolomie. — Carbonate de chaux et de magnésie. La chaux et la magnésie sont souvent en excès. On distingue la dolomie saccharoïde et la dolomie à cassure terreuse. La dolomie saccharoïde est schisteuse ou non schisteuse; on y trouve du mica, talc, serpentine, fer oxidulé, amphibole, pyroxène, corindon, tourmaline, réalgar. Dans les dolomies non schisteuses, on ne trouve presque pas de minéraux disséminés.

Roches gypseuses.

Anhydrite. — Se trouve à l'état saccharoïde et fibreux, sans eau, ainsi que l'indique son nom. On y rencontre, disséminés, des pyrites, fer oligiste, sel gemme, soufre, réalgar, blende et galène, et du talc; dans ce cas, l'anhydrite devient schisteuse et ressemble aux dolomies schisteuses.

Gypse saccharoïde. — C'est l'anhydrite qui a repris de l'eau. Contient les mêmes minéraux que le gypse anhydre. — On distingue encore le gypse compact et fibreux.

Roches de minerais de fer.

Le fer joue un rôle si important dans l'industrie, qu'il nous oblige à entrer dans quelques détails sur ses composés et sur son gisement.

Fer natif. — Il est peut-être problématique. Il est produit artificiellement dans les houillères en feu. On rencontre le fer natif en Sibérie et dans le département de l'Isère. Dans ces localités, le fer est au milieu d'une masse d'hématite. Il se rencontre assez fréquemment à l'état de météorite, alors il est

caverneux ou en masse grenue d'un gris clair. Ces météorites contiennent du nickel et du chrôme.

Fers sulfurés. — Il y a trois fers sulfurés : 1° fer sulfuré jaune ou pyrite; 2° fer sulfuré blanc, pyrite blanche ou sperkies; 3° fer sulfuré magnétique ou liberkies.

Le fer sulfuré jaune est d'un jaune d'or et d'un éclat très-brillant, il est presque toujours cristallisé. Ces cristaux sont de forme cubique et cubo-octaèdre, tronqués sur les angles. Les cristaux octaèdres sont rares, mais, après le cube, la forme la plus fréquente est le cube tronqué sur les arêtes d'une manière disymétrique, c'est le cubo-dodécaèdre pentagonal. Le fer sulfuré jaune peut se confondre avec le cuivre pyriteux, mais ce dernier a pour forme un tétraèdre provenant d'un prisme à base carrée, et la couleur est aussi d'un jaune verdâtre caractéristique. Le fer sulfuré fait feu au briquet, et il se décompose au chalumeau, en donnant un bouton attirable à l'aimant.

F. s. blanc. — C'est un fer sulfuré dont la teinte est moins prononcée que chez le précédent. C'est un gris tirant sur le verdâtre Ce qu'il y a d'essentiel, c'est la cristallisation. C'est un prisme rhomboïdal droit diversement modifié sur les angles et les arêtes. — Les angles sont de 90° et 106° 2'. — Il est employé à la fabrication de l'alun.

F. s. magnétique. — Cristallise en prisme régulier à six faces. Il se rencontre le plus ordinairement en masse lamellaire. — Couleur de bronze ; — très-dur cependant, n'étincelle pas sous le briquet. Il ressemble au cobalt et au nickel arsenical ; dans ce cas, un essai au chalumeau suffit pour les distinguer.

Fer arsenical ou mispickel. — C'est un arseniosulfure. Il cristallise en prisme rhomboïdal droit, dont les angles sont de 90° et 111° 12'. — Il se trouve en cristaux, en masse baccillaire et en masse grenue.

Fer oxidulé. — C'est un ferro-ferrate. Il se trouve à l'état métalloïde, tantôt en cristaux, tantôt en masses cristallines, ou grenues, ou compactes. Il est attirable à l'aimant. — Il cristallise en octaèdre très-net; c'est le cristal le plus habituel. — Poussière noire.

Fer oxidulé titanifère. — Très-fréquent dans les terrains anciens. La proportion de titane atteint jusqu'à 20 p. 100. — Il est magnétique. On le rencontre aussi dans les terrains volcaniques.

Fer oligiste. — Se présente dans des circonstances très-va-

riées : à l'état métalloïde ; — masse concrétionnée ; — masse compacte ; — masse terreuse. Tous ces fers donnent une poussière rouge caractéristique. Les cristaux du fer oligiste dérivent d'un rhomboèdre, dont l'angle est de 93° 50'. — On distingue : le fer oligiste grenu, fer hématite rouge, fer oligiste compact, baccillaire, oxidé, hydraté, on n'a jamais trouvé ce dernier cristallisé. — Il y a encore un fer oligiste hydroxidé qui cristallise en prisme à base quarrée, surmonté d'un pointement à six faces.

La véritable mine de fer est le fer oxidé-hydraté ; on le distingue en fer oxidé concrétionné (hématite brune), minerai en roche, minerai en grains, minerai géodique, minerai oolithique, minerai terreux, minerai limoneux, résineux, vitreux, des marais, minerai speudomorphique. La quantité de fer est variable à cause du mélange de l'argile et du calcaire. Le caractère commun est la poussière jaune. La pesanteur spécifique est très-variable ; pure, elle est de 44 à 45, et descend de 30 à 33. — Les minerais doivent avoir au moins 36.

Hématite brune. — Masses considérables. — Double structure : rognons et fibres. — Quelques variétés sont lustrées.

Minerais en roches. — Masses irrégulières, souvent caverneuses. Dans les cavités se trouve une partie plus compacte qui a la structure fibreuse, c'est de l'hématite brune.

Minerais en grains. — Grains isolés, plus ou moins gros. — Cassure fibreuse. Dans beaucoup de cas, ces grains sont reliés par une pâte argilo-calcaire ou argilo-ferrugineuse.

Minerais géodiques. — Gros grains. — C'est du fer qui a cristallisé dans de l'argile. — Forme des gisements particuliers.

Minerais oolithiques. — Minerais de fer en grains coagulés les uns aux autres. — Ils renferment de la silice (silicate de fer mélangé à l'hydrate de fer).

Minerais terreux. — Argiles très-chargées de fer. — On emploie principalement ces minerais comme addition.

Minerais limoneux. — Cassure résineuse. — Poussière jaune. — (Terrains d'alluvion). Rares en France. Ils contiennent du phosphore. — Donnent une fonte fusible (fonte de Berlin).

Minerais pseudomorphiques. — Produits par le remplacement de corps organisés : coraux, polypiers, coquilles du bois. En France on trouve ces minerais dans les Landes et la Gironde. Ils forment des couches dans le terrain tertiaire. — Les fossiles sont remplacés par du fer.

Chamoisite. — Forme une couche puissante dans le terrain de craie, dans les montagnes de Chamoison, en Valais. On rencontre aussi ce minerai en Bretagne.

Fer carbonaté. — Il se rencontre en masse compacte. C'est alors le minerai des houillères. A l'état cristallisé ou fer spathique, il renferme toujours du manganèse, ou de la magnésie, ou de la chaux; ces substances sont isomorphes.

Gisement des minerais de fer.

Fer oxidulé. — Il forme des amas puissants disséminés dans le terrain de gneiss et associé aux roches amphiboliques. Le plus souvent il se trouve dans les schistes micacés (Aveyron). Le schiste micacé est là un véritable minerai de fer. Ce genre de gisement existe aux monts Ourals et au Brésil; le mica est remplacé par le fer oxidulé.—On le trouve rarement en filons. A Traverselle, dans le Piémont, on croit que son gisement forme des filons. — On le rencontre encore dans les roches volcaniques à l'état de cristaux octaèdres disséminés. — On le trouve en abondance dans les sables qui proviennent de ces décompositions. Enfin, le fer oxidulé est très-abondant en Suède et en Norwège, où il constitue d'immenses amas.

Fer oligiste. — Il est plus fréquent que le précédent. Il se trouve en filons dans presque tous les pays. Dans le Brésil il existe dans une roche appelée *Ztabérite* : c'est un schiste dans lequel le mica est remplacé par le fer oligiste. — Dans les terrains volcaniques, le fer oligiste qui s'y trouve disséminé paraît être produit par sublimation.

Fer oligiste concrétionné ou hématite rouge. — Amas dans les terrains anciens : Pyrénées, Cornouailles.

Fer oligiste compacte. — Se rencontre dans certains grès rouges et dans des argiles.

Fer oxidé-hydraté, ou hématite brune. — Forme constamment des filons. — Pyrénées, Ariège, Rancié, Pyrénées-Orientales, Canigou. — Ces minerais sont associés avec le fer spathique : centre de la France, Pyrénées, terrains de craie et de transition; Ariège, Liao. — Ces calcaires sont tous cristallins et au contact des roches anciennes.

Fer oxidé-hydraté en roche. — Il forme des filons dans toute espèce de terrain. — C'est le minerai des Ardennes et de la Bretagne.

Minerai de fer en grains. — Appartient essentiellement au terrain tertiaire. — Il est disséminé dans des couches d'ar-

gile. On les a considérés longtemps comme des alluvions, mais il est constaté aujourd'hui qu'ils font partie de l'étale tertiaire moyen. — Ce minerai se rencontre abondamment dans le Berry et forme le gisement le plus important de la France. — Il existe aussi dans des cavités du calcaire du Jura, il est alors plus riche que le minerai en couche.

Minerais de fer géodique. — Rares, disséminés dans des argiles.

Minerai oolithique. — Appartient : 1° au terrain oolithique (étage moyen); 2° au terrain de grès vert.

Minerai de fer terreux. — Argiles chargées de minerai.

Minerai limoneux. — Alluvions modernes. — C'est un mauvais minerai. — Il contient de l'acide phosphorique.

COMBUSTIBLES.

Les combustibles peuvent se diviser en : bois bitumineux, lignites, houilles, anthracite et graphite. — Ils n'ont pas de composition chimique bien déterminée.

ROCHES ARÉNACÉES.

Ce sont des traces évidentes d'un transport par l'eau, comprenant tout fragment réuni par un ciment quelconque. Elles sont formées de quartz, feldspath, calcaire, mica, argile, talc. Le feldspath est décomposé et passe à l'état d'argile. L'amphibole et le pyroxène sont rares. — Le ciment n'est pas toujours visible; le plus ordinairement, il est quartzeux, calcaire, ferrugineux ou argileux.

Grès. — Grains à grosseur généralement uniforme. Ces grains sont ou anguleux, arrondis ou même cristallisés. — Les grès se divisent en *poudingue* et en *brèche*. Dans les brèches, la pâte est souvent un calcaire compact. On divise encore les grès en *psammite* : grains de quartz avec mica, ces grès sont schisteux ; *arkose*, grains de quartz et de feldspath décomposé plus ou moins ; *macigno*, grès à ciment calcaire ; *molasse*, roche de macigno peu solide ; *nagel flue*, macigno renfermant des fragments de galets ; *grauwacke*, grès et schistes argileux, reliés par une pâte de schiste argileux. — Elle devient schisteuse.

Grès rouge. — Ciment coloré par une argile ferrugineuse.

Grès houiller. — Il est formé de quartz, de mica et de feldspath ; le ciment est argileux, endurci par la silice. Il a ordinairement une couleur noirâtre provenant des végétaux décomposés qu'il renferme.

Tous ces grès passent les uns aux autres, sur une grande étendue.

Argiles. — Matières très-ténues; — font pâte avec l'eau à cause de l'alumine qu'elles contiennent, provenant de la décomposition des silicates-alumino-alcalins.

Marnes. — Quand le calcaire entre dans les argiles, elles passent aux marnes.

Ocre. — Argiles qui renferment un excès d'hydrate de fer.

Division des masses qui forment la croûte de la terre.

Les minéraux se trouvent tantôt accidentellement et en petite quantité, tantôt ils constituent de grandes masses. Ces masses n'offrent souvent aucune forme bien déterminée, aucun sens de cassure distinct; elles sont compactes et homogènes. D'autres fois, elles se divisent nettement, suivant des plans parallèles, en masses plus petites, très-étendues en longueur et en largeur, et d'une épaisseur relativement peu considérable. On les nomme *couches*, et cette disposition est connue sous le nom de stratification. Les masses non stratifiées sont formées, en général, d'éléments très-durs et cristallisés. Les masses stratifiées contiennent une grande quantité d'êtres organisés, et sont composées d'éléments arrachés aux masses précédentes, et charriés par les eaux. — On a classé les différents terrains de la manière suivante :

1° *Terrains anciens ou primordiaux*, comprenant le *terrain de granite*, lequel renferme les granites feldspathiques, les syénites, les protogynes et les granites quartzeux.

2° *Terrains de transition*, renfermant les gneiss, les stéaschistes, les micaschistes, les schistes argileux, les calcaires cristallisés, sans fossiles, les terrains de transition inférieurs, moyens et supérieurs.

3° *Terrain porphyrique ou période métallifère :* contenant les porphyres quartzifères, rouges, les diorites, les mélaphyres, les trapps, les euphotides, les ophites, les serpentines, les amphiboles, les yénites, les eurites et les porphyres trachytiques.

4° *Terrains secondaires*, qui se divisent en : *Terrain carbonifère :* terrain houiller, et calcaire carbonifère. *Terrain pénéen :* grès rouge, zechstein et grès des Vosges. *Terrain du trias :* grès bigarré, muschelkalk, marnes irisées. *Terrain jurassique :* grès du lias, arkoses, calcaire à gryphés, étage

oolithique inférieur, moyen et supérieur. *Terrain crétacé :* terrain néocomien, grès vert, craie blanche et marneuse.

5° *Terrains tertiaires: tertiaire inférieur :* argile plastique, calcaire grossier, gypse. *Tertiaire moyen :* grès de Fontainebleau, meulière, falhuns. *Tertiaire supérieur :* alluvions anciennes.

6° *Formation alluviale*, renfermant le diluvium alpin, et les alluvions modernes et les tourbes.

7° *Terrain volcanique :* trachytes, phonolithes, basaltes anciens, laves, volcans éteints et brûlants.

Accidents qu'éprouvent les couches.

A mesure qu'on approche des hautes montagnes, les couches des terrains stratifiés se redressent de plus en plus, se contournent et se brisent. On fixe la position des couches au moyen de la direction et de l'inclinaison. L'inclinaison est l'angle du plan de la couche avec l'horizon ; et la direction, l'angle que fait une ligne horizontale tracée sur la surface avec le méridien du lieu.

Il se produit, dans les terrains, des fentes, alors une partie de la masse se sépare de l'autre en glissant sur le plan de la cassure.

Dans les terrains stratifiés, et particulièrement dans les terrains houillers, les couches sont souvent dérangées par des *failles*, et le prolongement de l'une quelconque d'entre elles se trouve porté à un niveau inférieur. On recherche alors la couche rejetée du côté de l'angle obtus qu'elle fait avec la faille. Cette règle est très-exacte, lorsque la stratification n'est pas éloignée de la position horizontale; mais quand elle est verticale ou fortement inclinée, le contraire a lieu, et le rejet s'opère vers l'angle aigu.

Les couches augmentent de puissance ou diminuent sensiblement dans le sens de leur longueur, elles éprouvent alors des *renflements* ou des *étranglements*.

Souvent, au milieu des grandes masses minérales, s'interposent des substances étrangères qui portent le nom de *filons*, *veines* ou *amas*, suivant leur forme. Quand les amas deviennent très-petits, ils prennent le nom de *nids*, *rognons* ou *noyaux*.

Les *veines* sont des masses minérales minces et allongées, droites ou contournées, et traversant, dans tous les sens, l'épaisseur des couches ou amas.

Les *filons* sont des masses aplaties, très-étendues en lon-

gueur, qui s'intercallent au milieu des terrains primordiaux ou sédimentaires. Dans ce dernier cas, elles coupent toutes les couches, et c'est même le caractère principal qui sert à les distiuguer. — Toutes les fois que deux filons se rencontrent, l'un, sans éprouver aucune interruption, traverse l'autre et le divise en deux parties. Le plus ancien est le filon coupé. — Les points de rencontre de deux filons métallifères offrent généralement le maximum de richesse.

Dans les travaux de mine, la partie qui recouvre immédiatement un filon ou une couche, porte le nom de *toit*, et celle qui le soutient est *le mur*.

Les *salbandes* d'un filon sont des lisières étroites des roches environnantes qui sont altérées au contact des matières qui le composent.

La *gangue* est la substance stérile qui accompagne le minerai.

CHAPITRE III.

SECTION PREMIÈRE.

RECHERCHE DES MINES.

La recherche des mines exige que l'on soit familier avec les différents indices des minerais. L'étude de la géologie apprend à reconnaître ces indices. Les méthodes de recherches se divisent en trois classes : 1° les tranchées ouvertes ; 2° les puits et galeries ; 3° les sondages.

Méthodes de recherches.

La méthode par tranchées ouvertes doit être suivie quand une couche, filon ou veine, est connue dans une montagne, et qu'on veut la rechercher dans une montagne voisine ; ou bien encore quand on est à la crête d'une couche non exploitée qui est à la surface du sol.

La seconde méthode, celle par puits et galeries, quand le minerai devient abondant, ou que la couche est étendue. Cette méthode sert aussi pour trouver les filons croiseurs, ou perdus, ou des couches pour trouver des sources ou les multiplier.

La troisième méthode doit être employée pour de grandes profondeurs, et quand il n'y a pas d'indice à la surface. C'est un moyen généralement prompt et facile. Il n'est souvent employé que pour reconnaître l'épaisseur des terrains plus mo-

dernes qui recouvrent les terrains houillers. Souvent aussi, dans l'intérieur des mines, il sert à faire circuler l'air et à faire couler les eaux; enfin, pour reconnaître les sources douces et salées.

Des Tranchées ouvertes.

Ce sont des excavations à la surface du terrain sur une longueur variable et une largeur de 8 à 14 décimètres (2 pieds 1/2 à 4 pieds 3 pouc.) : la profondeur est de 2 à 4 mètres (6 à 12 pieds). Le but que l'on assigne aux tranchées ouvertes prouve que ces travaux ont plutôt pour objet de découvrir les circonstances naturelles d'un gîte déjà connu, et dont la direction est présumée, que d'en faire découvrir de nouveaux. Ce dernier but est plus spécialement celui de la sonde. Les tranchées s'emploient pour l'examen des couches et des filons ; le sondage, pour la recherche des couches.

Quand il s'agit de savoir si un filon exploité dans une montagne se prolonge dans une autre, il faut examiner la tenture des murs et du toit du filon exploité dans la première montagne. Il peut alors se présenter deux cas : ou le toit et le mur seront de nature différente, ou bien ils seront de même nature. Dans le premier cas, les recherches seront faciles : on reconnaîtra des points appartenant au terrain du mur, ou des points appartenant au terrain du toit. Il faudra, dans la direction première des filons, examiner les roches à la surface, les crêtes qui percent au travers de la terre végétale; reconnaître, s'il se peut, des parallèles du terrain du mur et du toit. On cherche dans la montagne voisine deux points indiqués par la direction du filon, et c'est entre ces deux points que se trouvera le filon, s'il existe. Si la montagne n'est pas découverte, on fait une tranchée qui va de l'un à l'autre. Mais si l'on ne trouve que l'un des terrains, ou même aucun d'eux, on en conclut que le filon s'arrête, ou qu'il est rejeté à droite ou à gauche, ou qu'il est contourné. Il y a en France des exemples de couches de houille qui suivent le contour des montagnes granitiques, sur lesquelles repose le terrain houiller. Sans doute les veines de terrain de même nature peuvent se prolonger en ligne droite. C'est pourquoi il faut commencer par cette direction; puis, ensuite, diriger les recherches dans les grandes vallées. Mais il ne faut pourtant pas poser en principe qu'une couche se prolonge toujours indéfiniment dans la même direction.

Ce cas où le toit et le mur sont de nature différente, est ra-

rement le plus facile. On ne peut plus alors reconnaître les veines par ses limites. Il faut marquer sur la surface du terrain la direction de la veine, puis la prolonger dans la montagne; faire une tranchée, puis examiner le terrain de la nouvelle montagne.

Si le terrain est de la même nature, si tout annonce que le filon se prolonge sans que la tranchée se découvre, il faut alors voir si les terrains voisins ne présentent pas de contournements ou de fissures qui aient détourné le filon. Dans ce cas, il est probable que le filon aura été rejeté parallèlement à la première direction.

Si le terrain de la seconde montagne n'est pas de même nature que celui de la première, il faut comparer tous les indices. Bien que le terrain soit différent, il ne faut pas toujours désespérer d'y rencontrer le filon, surtout si les couches du terrain sont très-inclinées; car alors les terrains sont de même formation, et le filon peut s'y trouver.

Toutes ces recherches doivent être faites avec réserve. Si on ne peut observer, à la surface, la jonction des deux terrains; mais si l'on aperçoit, dans la seconde montagne, la même inclinaison de terrain, il est probable que le filon aura été rejeté par un filon croiseur vers l'angle obtus. Dans le cas où le filon n'a pas été exploité, et qu'on en ait observé l'affleurement d'une seule veine, il faut le faire en plusieurs points, dont on détermine la direction. On la prolonge au-delà, et on ouvre des tranchées transversales. Si l'on rencontre plusieurs filons, on fait sur chacun des tranchées transversales, en s'attachant surtout aux points d'entrecroisement. Si les filons sont parallèles et trop éloignés, on s'attache au plus important.

Quand il s'agit d'un minerai en couches parallèles à celles du terrain sur lequel il repose, il est évident que la tranchée atteint son but, si elle est poussée perpendiculairement au plan du terrain. Il existe un principe, c'est que la tranchée ne peut manquer de rencontrer le filon, si le filon est prolongé suffisamment. Il suit delà que dans un terrain par bancs ou par assises verticales ou inclinées, il convient d'ouvrir la tranchée au travers de la direction du filon. Si la couche ou le banc change de direction, on dirigera la tranchée parallèlement à ces bancs ou perpendiculairement à la nouvelle direction; dans le premier cas, si c'est un filon, et dans le second, si c'est une couche.

Des Puits et Galeries.

Quand un filon, ou une couche, est découvert, s'il se montre à sa crête bien réglé, ce ne sont plus alors de simples tranchées qu'il convient de faire, il faut attaquer tantôt par des puits, tantôt par des galeries, tantôt enfin par des puits et des galeries à la fois. Dans tous les cas, ces travaux doivent être faits avec la plus grande économie.

Des Puits inclinés.

1° Lorsqu'un filon se montre au jour, soit en plaine, soit sur le revers d'une montagne, les premiers travaux doivent être des puits. On creuse ces puits sur la crête même du filon; on examine avec soin la gangue que l'on en retire, soit mécaniquement, soit chimiquement. Ces puits de recherche doivent être approfondis de 8 à 10 mètres (24 à 30 pieds); on les établit de 20 en 20 mètres (60 en 60 pieds) dans la direction du filon dont on connaît la richesse d'une manière précise par ce moyen.

Des Galeries d'allongement.

2° Lorsque le filon se montre au jour au pied d'une montagne et qu'il la traverse, on peut faire la recherche par une galerie d'allongement faite sur le filon même. Ce moyen paraît préférable au puits d'épreuve dont nous venons de parler. Le transport est moins dispendieux; d'ailleurs, si le filon produit beaucoup d'eau, ces eaux s'écoulent naturellement par la galerie. On peut employer les galeries d'allongement ouvertes au bas de la montagne, concurremment avec des puits ouverts sur la crête même du filon.

Des Galeries transversales.

3° Lorsqu'une veine parallèle à la pente d'une montagne se rapproche de son pied, on peut établir une galerie transversale pour aller la joindre en un point. Un puits sur la pente offre le seul moyen de bien connaître l'allure du filon. La galerie transversale ne sert qu'à faire reconnaître un point du filon: mais elle facilite le percement des puits inclinés. En général, ces galeries ne doivent être menées sur des veines métalliques dont on ne connaît pas la richesse, que lorsqu'elles doivent être très-courtes. Ainsi, dans la recherche des mines de houille, en général, il y a beaucoup plus de chances favorables, pour la régularité de ces galeries; d'ailleurs on peut espérer d'être dédommagé des dépenses, par le produit d'une galerie d'allongement que l'on établira par la suite.

Enfin, ces galeries transversales sont indispensables toutes les fois que la crête est recouverte de terrains trop solides pour les traverser.

Des Puits verticaux.

Au lieu d'approfondir les puits sur les filons, on peut aussi percer des puits verticaux. C'est surtout en plaine qu'on emploie cette méthode, qui, d'ailleurs, est plus dispendieuse que celle des puits sur la pente. Ce moyen ne fait, à la vérité, connaître le filon ou la couche que dans un point à l'extrémité du puits; mais on l'emploie fréquemment pour les couches de houille, parce que souvent elles ne viennent pas jusqu'à la surface, il y a des atterrissements. Ce terrain qui recouvre la crête présente ordinairement très-peu de dureté, et permet par conséquent cette recherche; d'ailleurs le boisage est moins dispendieux que dans les puits inclinés : ces puits ont ordinairement 10 ou 15 mètres (30 ou 45 pieds) de profondeur. Enfin, ce moyen permet d'ouvrir deux galeries d'allongement l'une à gauche, l'autre à droite du pied du puits, et de creuser un puits incliné sur la couche, ce qui la fera connaître à une grande distance. Il peut être souvent avantageux de combiner les tentatives par puits avec celles par galeries. On peut, par exemple, établir des puits de 100 en 100 mètres (302 en 302 pieds), et au fond de chacun pratiquer des galeries de 30 mètres (92 pieds) de chaque côté, de sorte qu'il ne reste qu'une place de 40 mètres (123 pieds) non exploitée. Ces galeries se feront suivant la direction du gîte, si celui-ci est isolé en filon; mais elles seront transversales, si l'exploitation a lieu dans des couches de houille, afin d'en recouper le plus grand nombre. En général, ce sont les circonstances locales qui doivent déterminer dans le choix des puits et galeries : les galeries sont moins coûteuses que les puits. Les puits sont praticables en pays de plaines et de montagnes; les galeries, en pays de montagnes seulement. Les galeries peuvent, durant le cours de l'exploitation qui suivra, servir pour l'écoulement des eaux et le transport des minerais. On peut souvent, à l'origine, pratiquer une seule galerie continue; un seul puits ne peut être convenable pour l'aérage, l'extraction et l'épuisement.

Recherches dans d'anciennes exploitations.

Les puits et galeries dont nous venons de parler, ont leur embouchure au jour; ils servent aux premières recherches que l'on doit toujours tenter au commencement d'une exploita-

tion et avant toute exploitation ; mais on les emploie souvent aussi dans d'anciennes exploitations.

Ces recherches ont pour objet :

1° De retrouver un filon, ou une couche, perdu ou rejeté ;

2° De poursuivre une couche amincie ou brouillée ;

3° De chercher de nouveaux filons ou de nouvelles couches.

Ces travaux doivent, comme les précédents, être toujours conduits avec prudence et économie.

S'il s'agit de retrouver un filon ou une couche rejeté, et que la couche soit horizontale, on cherche alors, comme nous l'avons déjà dit, le filon du côté de l'angle obtus du filon croiseur. Si le rejet n'a pas eu lieu dans un plan horizontal, il faut alors creuser des puits toujours du côté de l'angle obtus. Souvent on remarque une trace légère du filon dans le filon croiseur ; cette trace suffit pour indiquer au mineur de quel côté a été rejetée la couche, et où, par conséquent, il doit la rechercher. Ces sortes de rejets sont très-fréquents dans les couches de houille. Dans les anciennes exploitations, où les terrains sont bien connus, on les retrouve facilement.

Quand la couche ou le filon s'amincit, ou s'appauvrit, on resserre la galerie jusqu'à ce que la couche ait repris elle-même sa première épaisseur. Si la couche était verticale, on emploierait un puits étroit : l'excavation se fait alors aux dépens du mur et du toit. Il est d'ailleurs facile de reconnaître, à l'inspection seule des bancs du terrain qui forme la paroi opposée de la fente, si ces bancs appartiennent à la tête ou au toit du filon.

Quand il s'agit de chercher de nouveaux filons, ces recherches peuvent se faire dans quelques filons croiseurs par galeries horizontales, parce que presque tous les filons parallèles sont de même nature et de même richesse. Les filons croiseurs sont de nature différente ; aussi, si la substance du filon est de facile exploitation, on continue jusqu'à ce que l'on observe sur les parois des filons indiqués parallèles au premier.

S'il s'agit, au contraire, de chercher de nouvelles couches, ces recherches se feront par galeries dans les terrains où les couches sont verticales ; par puits dans ceux où les couches sont horizontales ; enfin, par puits et par galeries dans les terrains à couches contournées et retournées. Dans les terrains à couches verticales et très-inclinées qu'un puits traverse, il faut ouvrir les galeries au toit au haut du puits, et

dans le mur au bas du puits, afin de pénétrer des couches que le puits n'a pas traversées. On creuse ainsi un puisard, où se rendent les eaux. Il arrive souvent qu'en poussant une galerie horizontale perpendiculairement à des couches inclinées, ces couches changent de direction; il convient alors de changer la direction des galeries; mais il ne faut pas le faire brusquement, parce que cette déviation est souvent due à la déviation d'une seule couche. Mais quelquefois les couches se détournent à angle droit; alors il faut substituer à la galerie un puits vertical.

Pour la recherche des eaux salées, lorsque la position du banc de terrain qui les renferme est bien connue et que ce banc donne un passage facile à l'eau, il suffit de creuser un puits ou une galerie, jusqu'à la rencontre du banc dont part la source. C'est ainsi que, lorsque la source salée sort du flanc d'une montagne, il suffit d'ouvrir des galeries dans le flanc de la montagne, jusqu'au noyau d'argile salifère. Quelquefois aussi, si l'on craint un mélange d'eau douce, on pratique une galerie d'enceinte pour isoler les eaux douces.

Quant à la recherche des eaux douces, elle peut avoir deux buts : de fournir de l'eau pour les machines motrices ou pour les besoins domestiques. Il est rare, en général, que l'on fasse des travaux pour rechercher des eaux motrices pour les machines. On peut, dans un pays de montagnes, percer des galeries sur les flancs, et ouvrir des canaux par lesquels les eaux s'écoulent. On sait qu'en pays de vallées, on trouve de l'eau à une petite profondeur, il suffit donc de creuser des puits dont on multiplie les sources en creusant plus avant ou pratiquant des galeries en pattes d'oie. On trouve, dans certains pays, des eaux jaillissantes à la surface du sol; ces eaux peuvent servir au mouvement des roues hydrauliques. C'est ordinairement au moyen de trous de sonde que l'on obtient ces eaux jaillissantes.

Du Sondage.

Le sondage est un moyen très-certain et très-prompt de reconnaître l'ordre successif des masses de terrains, leur nature, leur pente et leur direction. Sous ce premier point de vue, la sonde est un des instruments les plus nécessaires au mineur, elle sert à faire découvrir des couches ou des filons, le prolongement, l'allure et la manière d'être de ceux déjà trouvés. Dans la recherche des mines de houille, elle fait connaître les endroits où ce combustible minéral existe;

elle économise ainsi des lenteurs et des dépenses considérables occasionées par des puits et des galeries.

Dans le cas où les terrains qui recouvrent le terrain houiller ont 150 mètres (450 pieds) d'épaisseur, le sondage est d'un si grand avantage quand il s'agit d'établir un nouveau puits d'exploitation, qu'on pourrait dire qu'il est indispensable. Cela vient de ce que ces terrains de recouvrement éprouvent souvent des renfoncements considérables, de 20 à 30 mètres (60 à 90 pieds) quelquefois. Le sondage fait connaître la bande plus ou moins étroite du terrain houiller, la profondeur à laquelle on peut le rencontrer. Dans le cas où le point d'exploitation serait bien déterminé d'avance, le sondage ne serait pas encore inutile. Si l'on craint de rencontrer des sables mobiles, le sondage fera connaître l'épaisseur de ces sables, l'endroit et la profondeur où ils gisent. Dans tous les cas, il est bon de sonder, pour savoir quel est le mode de travail que l'on doit adopter. C'est pour avoir négligé ce sondage préliminaire; c'est pour avoir méconnu son utilité dans le sable mouvant, que beaucoup de puits n'ont pu être achevés et ont englouti leurs boisages construits souvent à grands frais. C'est aussi par suite de cette imprévoyance que les projets les mieux conçus ont échoué.

Il est encore un cas où le sondage est de toute nécessité, c'est celui où les terrains renferment des eaux supérieures, en même temps qu'il existe d'anciens vides. Ce cas peut se rencontrer souvent dans les pays de vieilles exploitations; il s'offre fréquemment à Liége, et voici en peu de mots comment on effectue le travail: on mène à travers les vieux ouvrages d'une couche de houille supérieure, une galerie dirigée sous le nouveau puits. Arrivé immédiatement au-dessous de ce dernier, on forme une espèce de chambre plus grande que le puits; puis on pratique dans cette chambre un trou de sonde, par lequel s'écoulent les eaux. On peut alors continuer l'approfondissement du puits, sans être gêné par les eaux ni obligé de les épuiser.

Dans l'intérieur même des mines, la sonde peut être employée pour ouvrir une prompte circulation d'air entre différentes galeries, pour rejeter les eaux d'une partie de la mine dans une autre, pour rechercher aussi s'il existe d'anciens amas d'eau dans des filons exploités, et cela dans le but de mettre les ouvriers à l'abri de toute inondation; on peut encore, par ce moyen, s'assurer de nouvelles veines, etc., etc. C'est

à un trou de sonde fait au fond d'un puits que l'on était sur le point d'abandonner, qu'est due la fortune des mineurs de Valenciennes.

Quittons l'intérieur des mines et examinons l'usage de la sonde à la surface. Le mineur emploie la sonde avec succès pour la recherche des minerais d'alluvion, reconnaître leur épaisseur, leur étendue. On l'emploie aussi pour découvrir des argiles, des marnes, des glaises, des terres à pipes, des grès, etc., et en général des substances utiles aux arts. C'est avec la sonde que le tourbier recherche la tourbe, combustible si précieux; par son aide, il mesure les couches de tourbes et leur profondeur. Sans la sonde, le tourbier ne pourrait travailler qu'au hasard; mais avec elle tous ses pas sont réglés.

La sonde, aux mains d'un fontainier habile, ouvre des sources abondantes dans des terrains arides, et amène des eaux saines et potables dans des contrées où la nature n'avait donné que des eaux insalubres et désagréables. Elle sert encore à la recherche des eaux salées, à celle du sel gemme; ce qui s'effectue en introduisant dans un trou de sonde des eaux douces, que l'on retire lorsqu'elles sont saturées.

Tous ces détails font voir que le sondage ne doit pas être considéré seulement comme un moyen de recherche, mais qu'il est encore un moyen d'exploitation soit à la surface du sol, soit dans l'intérieur des mines. Enfin, il peut encore, dans certains cas particuliers, servir à l'extraction. Comme plusieurs ouvrages spéciaux traitent en détail des méthodes employées pour le sondage, nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, nous terminerons seulement par quelques considérations générales.

Construction de la sonde.

Les tiges ou les allonges de sonde doivent être faites ordinairement avec du fer doux. Quelques métallurgistes conseillent de corroyer trois barres à la fois; mais il est rare que l'on emploie cette précaution. Les tiges devraient être cylindriques; cependant, maintenant, on préfère employer des barres quadrangulaires à angles vifs, ou dont on efface les angles sous des faces étroites, ce qui donne des barres à huit pans. On préfère cette forme, parce qu'elle a l'avantage de laisser saisir les tiges par la manivelle, les tourne-à-gauche, les clefs, etc., à la hauteur que l'on veut. On ne donne ordinairement aux tiges de sonde que 3, 4 ou 5 mètres (9, 12

ou 15 pieds) au plus de longueur, même dans le cas où l'on emploie une grue ou un treuil au fond d'un puits, ce qui permet de désassembler à la fois une plus grande longueur de tiges.

Les assemblages doivent être faits avec grand soin quand ils sont à vis ou à écrou. Les filets de la vis doivent avoir une épaisseur suffisante pour résister. Ordinairement on donne à cette vis cinq pas ou révolutions : un plus petit nombre serait insuffisant. On peut en donner un plus grand nombre, mais cela est inutile, et ne ferait qu'allonger le temps qu'il faut employer pour assembler. Quand l'assemblage est à enfourchement, les onglets doivent être faits avec beaucoup de soin, de manière à se raccorder parfaitement. Les boulons qui servent à réunir cet enfourchement ont leur tige quarrée; ils traversent des trous quarrés, et se terminent d'un côté par une tête, et de l'autre sont arrondis et taillés en vis de manière à recevoir un écrou, qui consolide l'assemblage. Quelquefois ces boulons sont cylindriques. Les trous qui les reçoivent sont également cylindriques ; mais l'un des tenons est taraudé. Tous les assemblages doivent être parfaitement semblables, de manière que l'on puisse ajuster indifféremment une tige avec une autre. Cependant, quoique la sonde ait été ainsi construite, on est dans l'usage de numéroter les tiges qui doivent se suivre les unes les autres, afin de les placer toujours dans le même ordre. L'avantage que l'on y trouve, c'est que les assemblages sont toujours plus fermes, parce que, quelque soin que l'ouvrier ait mis à les faire semblables, l'un quelconque de ces assemblages se réunit mieux à celui avec lequel il a été réuni en premier lieu, qu'avec tout autre.

Soins du sondage. — Tous les outils d'une sonde doivent être également calibrés et en général renforcés, c'est-à-dire que la tête doit être plus forte que celle de la sonde. Quand les outils ont perdu leurs dimensions premières, il faut les renvoyer à la forge. Il est bon que les allonges qui sont près de l'outil soient les plus fortes, car elles reçoivent les plus grandes secousses quand on fait battre la sonde. Les clefs, les tourne-à-gauche, les leviers, les manivelles, doivent être très-courts, sinon ils auraient bientôt tordu les tiges. Quelquefois on emploie une manivelle à quatre bras, surtout dans le fond des puits; pour la manœuvrer, les hommes ne changent pas de place. Il faut établir, à l'orifice du trou de sonde, un plancher que l'on ferme à clef avec une trappe, lorsqu'on ne

travaille pas, en sorte qu'il ne puisse s'introduire aucun corps étranger dans le trou. Par conséquent, on ne doit pas laisser les tiges dans le trou lorsque l'on suspend le travail, parce que, quand bien même le sondage aurait lieu dans un endroit fermé, les parois pourraient s'ébouler, resserrer les tiges et les engager de telle sorte que l'on aurait de la peine à les désassembler.

Quand on veut abandonner un trou de sonde pendant plusieurs mois, il est bon de le remplir avec du foin, pour soutenir les parois et empêcher l'introduction de corps étrangers qui gêneraient le sondage.

Il convient, pour qu'un sondage soit bien conduit, de vérifier si les tiges sont assemblées bien verticalement, et si la sonde, dans son ensemble, est bien droite; car souvent il arrive que les axes des trous de sonde ne sont pas rectilignes. Pour cela, tous les trois ou quatre jours on retire la sonde, on l'étend à terre, et si quelques tiges sont tordues, on les envoie à la forge. Souvent on redresse à froid, le fer que l'on emploie étant de bonne qualité. Lorsqu'on sonde en tournant et que l'assemblage est à vis, il faut faire tourner la sonde dans le même sens que les vis. En général, dans ce cas, on ne doit employer que très-peu de force; sinon on courrait le risque de percer le trou de travers ou de tordre les tiges.

L'assemblage à enfourchement a cet avantage sur celui à vis, c'est qu'il permet de tourner tantôt à gauche, tantôt à droite, sans crainte de désassembler les tiges; mais, d'un autre côté, lorsqu'il s'agit de faire battre la sonde, cet assemblage a moins de solidité que celui à vis. Quand on sonde dans un terrain rocailleux, il faut fréquemment visiter les assemblages; souvent, de quart-d'heure en quart-d'heure, les resserrer et les raffermir. Pour l'assemblage à enfourchement, il faut resserrer les écrous quand on a battu 200 coups. Si l'on faisait battre davantage, les boulons finiraient par se casser. Il faut retirer les outils de 108 en 108 millimètres (4 pouces en 4 pouces). Si l'on essayait de fouiller plus profondément, on éprouverait plus de difficulté pour enfoncer et pour curer les outils. Dans le terrain calcaire dur, ce battage et ce curage alternatifs de 108 en 108 millimètres (4 pouces en 4 pouces) sont assez avantageux. Quand le terrain est trop sec, on y verse de l'eau pour faciliter l'entrée des outils. Quand on emploie le ciseau, le trou n'est jamais parfaitement cylindrique : il faut, dans ce cas, employer les égalisoirs (instrument pyramidal ou cônique

à bords tranchants). On fait subir cette opération de mètre en mètre (de 3 pieds en 3 pieds).

Voici les outils qui conviennent le mieux à divers terrains :

Dans le grès, on emploie une pointe obtuse que l'on fait battre; car ce grès fait souvent l'office de meule, et userait plutôt les outils qu'il ne serait percé.

Dans le calcaire compacte et très-tenace, on emploie tour-à-tour les trépans et les casse-pierres.

Dans le calcaire tendre et le gypse, on emploie un foret à deux biseaux.

Dans un terrain demi-dur, on emploie un foret à deux becs.

Quand on emploie le tire-bourre dans les sables, les glaises, il ne faut l'enfoncer qu'à 2 décimètres (7 pouces 5 lignes) de profondeur; arrivé là, on fait bander le cable pour qu'il ne puisse plus descendre, puis on l'élève au jour, mais en continuant de tourner.

Il est bon d'avoir une forge de campagne quand on est éloigné des habitations, et une caisse à compartiments pour les échantillons. On doit recueillir toutes les matières que les outils retirent du trou, et les conserver dans des cases numérotées, pour les compter au besoin. En même temps, on doit noter, sur un registre, la profondeur d'où on les a tirées, ce que l'on détermine aisément, connaissant le nombre de tiges employées et la longueur de chacune d'elles. C'est par de telles observations que l'on obtient une coupe complète du terrain que l'on a traversé. Une moyenne sonde de mineur, avec l'attirail complet de ses outils, coûte environ 2400 fr. On doit, lorsque l'on entreprend un sondage, avoir les principaux outils en double, afin de n'être pas arrêté en cas d'accident.

Le sondage, qui doit être poussé à une grande profondeur, et durer longtemps, donne fréquemment lieu à des accidents qui le retardent. Il est arrivé souvent qu'un morceau de bois assez gros est tombé dans le trou de sonde. Dans ce cas, si ce trou ne contient pas d'eau, il est facile, en l'en remplissant, de faire remonter ce morceau de bois jusqu'à la surface. Mais il est un autre accident qui présente plus d'inconvénients. Souvent l'outil s'engage de manière qu'on ne puisse le retirer par aucun des moyens connus. Voici, dans ce cas, le seul moyen à employer et qui réussisse presque toujours. Si l'assemblage est à vis, on désassemble toutes les tiges que l'on peut retirer; on ajoute un peu d'étoupe dans chaque assemblage, et on visse

de nouveau en serrant fortement. On ajoute à la tige inférieure un écrou d'acier, dont la surface intérieure est garnie d'une vis, et l'on fait descendre le système jusqu'à ce que l'écrou d'acier vienne s'assembler sur la tête de la tige qui est restée engagée. On tourne alors en sens contraire. Les assemblages que l'on a resserrés avec de l'étoupe ne peuvent se désassembler, non plus que l'écrou d'acier; mais il arrive souvent qu'un des assemblages inférieurs se désassemble; on retire cette nouvelle tige, ou portion de tige, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que l'on arrive à l'outil. Pour retirer ce dernier, on fait descendre un autre outil avec lequel on perce un trou immédiatement à côté de celui qu'on veut retirer. De cette manière, l'outil se trouve désengagé, et au moyen d'accrocheurs on l'enlève. Si la sonde vient à se casser, on la saisit sous un nœud avec un anneau rempli de crochets qui se réunissent en un point, ou avec un accrocheur, selon que le point de rupture est éloigné ou proche d'un nœud.

Les difficultés rendent le sondage fort long; aussi faut-il l'abréger autant qu'il est possible. Une des opérations qui prend le plus de temps, est le désassemblage des tiges. On enlève, pour abréger, 10, 15 et même 20 mètres (30, 45 et même 60 pieds) de tiges à la fois à l'aide d'une grande grue ou d'un puits. Lorsqu'on est à 40 ou 50 mètres (120 ou 150 pieds), il faut plus d'une heure pour retirer les sondes et les redescendre. Une autre opération fort longue est le curage; car il faut encore désassembler. On abrège beaucoup en se servant, au lieu d'une tarrière, d'un vase cylindrique qui a 3 ou 4 décimètres (11 pouces ou 1 pied 2 pouces) de haut, et dont le fond est terminé par une soupape qui s'ouvre en tombant. Cette soupape s'ouvrant à l'intérieur, laisse entrer les matières dégagées du sol; puis, avec une corde qui s'enroule sur un treuil, on remonte promptement ce cylindre rempli des parcelles de terrain détachées.

SECTION II.

DES FOUILLES EN EXCAVATIONS.

Les excavations que le mineur pratique pour arracher les substances minérales du sein de la terre, peuvent être divisées en excavations à ciel ouvert et excavations souterraines. Les excavations à ciel ouvert sont celles dans lesquelles on enlève toujours la portion de terrain supérieure à celle que l'on entaille sur de grandes dimensions et qui sont peu profondes. Les

excavations souterraines sont celles que l'on pratique en tous sens au sein des roches, et qui en sont le plus souvent environnées. Les excavations à ciel ouvert prennent le nom de fouilles tranchées, entailles et foncements. Les excavations souterraines se nomment galeries, puits, vallées, descenderies, chambres et tailles d'exploitation.

Des Galeries.

On appelle *galerie*, toute excavation rectangulaire plus haute que large, qui s'étend principalement en longueur dans une direction horizontale ou proche de l'horizontale.

On distingue les galeries de recherche, de traverse, d'allongement, d'aérage, d'écoulement, de passage, de roulage, suivant l'usage auquel elles sont destinées. Il y a des galeries horizontales et des galeries inclinées.

Des Puits.

On nomme *puits*, toute excavation creusée verticalement ou à peu près verticalement, dont la profondeur peut être plus ou moins grande, et dont la section peut être circulaire, polygonale ou ovale. Ces puits prennent aussi différents noms, suivant leurs usages : puits principal, puits d'extraction, d'aérage, de descente, de secours, de décharge.

Si le puits s'éloigne un peu de la verticale, on l'appelle puits oblique. Tous ces puits ont presque toujours leur embouchure à la surface du sol. Cependant, il arrive que l'on en creuse sur le sol même des galeries. Les puits prennent divers noms, suivant les divers pays : bures, burtia, burques. Lorsque l'inclinaison du puits avec la verticale approche ou excède 45°, les puits et les galeries changent de nom, on les appelle *vallées*, ou *descenderies*.

Les *tailles* et les *chambres* d'exploitation sont des excavations souvent disposées par gradins, et que l'on forme dans le minerai même en l'arrachant de son gîte.

Toutes ces excavations donnent lieu à deux sortes de considérations différentes. On peut demander quels sont les moyens que le mineur emploie pour excaver, et comment se font ces excavations.

Des moyens d'excaver.

La bêche et le pic ont dû être les premiers instruments du mineur. Ces outils n'ayant pas toujours été suffisants pour entailler toutes sortes de rochers, on a eu recours au feu

pour diminuer la consistance des pierres, détruire la cohésion de leurs molécules, diviser ou fendiller leur masse, et permettre ainsi de les attaquer par parties. Mais ce moyen n'est pas convenable pour tous les minerais. Souvent les substances minérales volatilisées par le feu, seraient nuisibles aux mineurs; et, d'un autre côté, le combustible pourrait devenir trop rare ou trop cher pour l'employer fréquemment. Enfin, on a employé la poudre.

Le mineur a donc trois moyens d'exploiter en excavations : 1° les outils de fer et d'acier; 2° le feu; 3° la poudre. Nous allons examiner séparément chacun de ces moyens, quoique le plus souvent le mineur emploie simultanément deux d'entre eux pour parvenir à son but.

Des Outils.

Les outils et les instruments dont fait usage le mineur, sont extrêmement nombreux. Nous les diviserons en quatre sortes :

1° La première sorte renferme les outils qui servent pour entailler; 2° les outils qui servent pour abattre; 3° pour ramasser; 4° pour entailler et ramasser.

La première sorte comprend :
- Le marteau à deux pointes;
- Le marteau et la pointe;
- Le marteau à deux ciseaux;
- Le marteau et le ciseau;
- Le pic à deux pointes;
- Le pic et la pioche;
- Le pic et le ciseau;
- Le ciseau et la pioche.

La deuxième sorte comprend :
- Les coins et les aiguilles;
- Les masses et les marteaux;
- Les pinces et autres leviers.

La troisième sorte :
- Les rables;
- Les pelles ou écoupes;
- Les rateaux;
- Les crochets.

La quatrième sorte :
- La bêche;
- Le louchet grand et petit;
- La drague;
- La boîte à tourber.

Les pics dont le mineur se sert, sont : 1° le pic aigu, dont on fait usage dans les terrains tendres. Cet outil est très-aigu et très-effilé; sa longueur a 8 ou 10 décimètres (2 pieds 1/2 à 3 pieds), le manche a 50 à 55 millimètres (1 pouce 10 lignes à (2 pouces) de diamètre. Quelquefois ce pic est courbe : le poids de cet instrument n'excède pas 1 kilog. 1/2 (3 livres). 2° On fait aussi usage d'un pic quadrangulaire terminé par une pyramide obtuse. 3° Enfin, une troisième espèce est un pic qui ne diffère du premier qu'en ce qu'il a très-peu d'épaisseur; il sert pour les terrains fendillés.

Les coins dont on fait usage ont la forme ordinaire. Ils sont tenus par un manche. Ils sont ordinairement en fer aciéré; quelquefois ils sont en bois, et l'on s'en sert assez volontiers dans les carrières de meules. Voici le procédé usité dans le Piémont. On commence par découvrir le bloc dans lequel on veut exploiter une meule, on taille cette meule cylindrique de manière à l'isoler du reste de la masse, on creuse à sa base une rainure de 135 à 162 millimètres (5 à 6 pouces) de profondeur. On chasse ensuite dans cette rainure des coins de bois au moyen de masses et que l'on serre avec force. Lorsque les ouvriers ont épuisé toute leur force sur ces coins, ils les mouillent (le bois dont sont faits ces coins est susceptible de se glonfler par l'eau). On se retire et on laisse agir l'eau ; au bout de 6, 8, 12 heures, plus ou moins, la masse se détache. Quelquefois, au lieu de se contenter de mouiller les coins, les mineurs, pour être plus sûrs de réussir, élèvent une petite digue et remplissent d'eau la rainure, afin que les coins soient constamment mouillés.

Occupons-nous maintenant du mode de travail des mineurs. Ce serait perdre beaucoup de temps et faire peu d'ouvrage que de s'occuper d'abattre toujours en avançant, sans avoir préalablement fait une brêche. On entaille : on commence l'entaille vers le milieu de la galerie; on continue jusqu'au faîte, puis on finit par l'autre moitié. Dans un puits, l'entaille peut se faire d'abord par le milieu et se continuer ensuite de chaque côté; le plus souvent elle se fait par une extrémité. Il convient que la première entaille soit plus profonde que toutes les autres, afin de servir de réceptacle aux eaux. Dans les exploitations à ciel ouvert, on fait l'entaille au milieu des bancs, puis on abat en donnant à l'excavation la forme de gradins. Par cette disposition, les masses à enlever se trouvent dégagées sur deux faces au moins, ce qui en facilite l'extraction. Dans les exploitations

de tourbe, on exploite ainsi par gradins. Quand on exploite sous l'eau, on exploite de même par gradins; mais on exploite chaque entaille entièrement. Dans les filons, on pratique une entaille sur le mur et une sur le sol; puis, avec des outils convenables ou de la poudre, on fait sauter toute la portion de terrain entaillé. Dans les mines en masses, ordinairement on pratique sur le sol une entaille, et aux deux extrémités de la masse que l'on veut abattre, on creuse deux entailles verticales. Dans les carrières d'ardoise, on détermine d'abord l'étendue que l'on donnera à la chambre d'exploitation : on pratique ensuite à la partie supérieure une entaille; on la poursuit ainsi jusqu'à 8 ou 10 mètres (24 ou 30 pieds) de profondeur. Dans cette première entaille on n'obtient que très-peu ou point d'ardoise. On creuse alors, à chaque extrémité de l'entaille principale, deux petites entailles; puis, parallèlement à celles-ci, de nouvelles à une distance de 2 mètres (6 pieds) chacune, et ainsi de suite.

Du Feu.

Quand on ne peut venir à bout, à l'aide d'outils, de séparer les roches et d'y pratiquer des excavations, on a recours au feu. Le feu divise les roches, les délite, les fend, les brise, les réduit en feuillets et en plaques. L'usage du fourneau remonte à des temps très-reculés : il est moins pratiqué depuis l'invention de la poudre, cependant il l'est encore dans le nord de la France. On ne l'emploie que dans les mines en amas, dans les filons dont le toit est solide, surtout dans les mines pauvres. Le feu compromet souvent la sûreté des ouvriers par le mauvais aérage, les dégagements de gaz, d'arsenic, etc. Cette méthode ne peut être employée quand le bois n'est pas très-abondant. Le travail est au reste fort industrieux; voici en quoi il consiste : il comprend deux parties, 1° l'excavation des galeries, 2° l'exploitation des masses, filons ou amas. On ne peut en faire usage pour le percement des puits, à cause de la difficulté de diriger la flamme de haut en bas.

Mode de Travail.

1° *Pour le percement des galeries.* — Lorsque, par d'autres moyens, on a creusé les puits principaux et qu'on a commencé l'ouverture des galeries, on peut continuer et pousser ces galeries par le moyen du feu. Le percement d'une galerie dans un rocher ou filon, se divise en trois opérations qui se font succes-

sivement. D'abord, on pratique une échancrure étroite et verticale; par une seconde opération, on élargit l'échancrure à droite et à gauche; enfin par une troisième on exhausse le toit de cette entaille. La première opération exige un fourneau en fer ou en tôle. Les dimensions sont : 65 centimètres (2 pieds) pour la hauteur, 60 centimètres (1 pied 10 pouces) pour la largeur la plus grande, 40 centimètres (1 pied 3 pouces) pour la plus petite, 50 centimètres (1 pied 1/2) pour la hauteur la plus grande, 20 centimètres (7 pouces 1/2) pour la plus petite. On place l'extrémité la plus petite de ce fourneau contre le fond de la galerie, à 5 ou 6 centimètres (1 pouce 10 lignes ou 2 pouces 3 lignes) de distance. On y introduit de petites bûches fendues de 5 ou 6 décimètres (1 pied 6 pouces ou 1 pied 10 pouces) de longueur, et on se retire pour laisser le feu produire son effet. A mesure que le bois se consume on en introduit d'autre. On continue ce feu pendant trois ou quatre jours, selon la résistance du rocher. Alors, avec des pinces, des masses, etc., on achève de séparer ce que le feu a délité.

Le fond de la galerie se trouve alors entaillé sur une largeur de 70 centimètres (2 pieds 2 pouces), une hauteur de 40 centimètres (1 pied 3 pouces), et une profondeur de 10 à 15 centimètres (3 pouces 9 lignes à 5 pouces 7 lignes). On pousse davantage le fourneau dans l'entaille, on le charge et on l'allume de nouveau. On continue ainsi jusqu'à ce que l'entaille ait 1 à 2 mètres (3 à 6 pieds) de profondeur. Cela fait, il s'agit d'élargir cette espèce de boyau. Pour cela on construit, à 5 ou 6 centimètres (1 pouce 10 lignes ou 2 pouces 3 lignes) de distance de l'entaille, un bûcher composé de bûches horizontales et qui se termine en forme de toit. On l'établit dans toute la longueur de l'entaille et sur un de ses côtés : on fait de même de l'autre côté. La flamme rasant les parois de l'entaille, les dispose à être attaquées par les outils. En portant le bûcher de plus en plus contre les parois, on parvient à donner à l'entaille toute la largeur de la galerie (1).

2° *Excavation des masses et des filons.*

Après avoir atteint le gîte métallique par un puits creusé soit verticalement, soit horizontalement, selon la direction du filon, à l'endroit où l'on veut exploiter ou établir une galerie

(1) Cette méthode n'est guère employée que dans trois ou quatre mines où le minerai est mélangé de quartz, et tellement résistant, qu'on ne peut faire usage de la poudre à cause de la difficulté de forer les trous de mines. L'emploi du feu exige que les travaux préparatoires, tels que puits et galeries, aient une disposition particulière.

horizontale; à 20 mètres (60 pieds) au-dessous de cette première galerie, on en établit une seconde, puis une troisième à 20 mètres (60 pieds) encore, et ainsi de suite dans toute la profondeur du puits. Ces galeries partagent le gîte en plusieurs masses que, pour rendre l'exploitation plus commode, on subdivise elles-mêmes en plusieurs autres à l'aide de puits verticaux qui vont d'une galerie à l'autre, et qui sont distants entre eux de 60 mètres (180 pieds) ordinairement. Si le puits n'est pas boisé, on peut attaquer immédiatement le massif voisin du puits; s'il est boisé, on attaquera à une certaine distance. Pour attaquer l'un quelconque des massifs, on dispose dans toute sa longueur un bûcher que l'on rejette particulièrement du côté du mur et qui s'élève presque jusqu'au faîte de la galerie, on y met le feu en un grand nombre de points et l'on se retire. Il est cependant nécessaire que les ouvriers reviennent de temps à autre pour attiser le feu et y jeter de nouveau bois. Au bout de trois ou quatre jours, le rocher étant refroidi et suffisamment attendri, quelques fragments s'étant même détachés immédiatement, les ouvriers rentrent dans l'excavation, et, au moyen de longues tiges, font tomber devant eux tout le minerai délité, qui, ordinairement, est attaqué sur une profondeur de 80 centimètres à 1 mètre (2 pieds 1/2 à 3 pieds). Cela fait, on trie le minerai et on l'enlève, si les débris suffisent pour exhausser le sol de la galerie de manière que le plafond de l'excavation n'en soit qu'à 2 mètres (6 pieds) au plus; mais si les déblais ne suffisent pas, il faut laisser une partie du minerai. Dans les deux cas on construit, sur les matériaux que l'on dispose horizontalement, un nouveau bûcher, que l'on conduit comme le précédent, et qui produit un effet analogue. Par une série de ces opérations successives, en s'élevant continuellement sur les déblais, on parvient à enlever complètement le massif compris entre deux puits et deux galeries; puis on attaque un autre massif semblable. Lorsque l'on veut conserver une galerie de passage au-dessous du massif que l'on exploite, il faut, quand l'excavation est successivement exhaussée, établir, à 2 mètres (6 pieds) au-dessus du sol de la galerie, un plancher sur des madriers enfoncés verticalement et recouverts de chapeaux que l'on charge de déblais, sur une épaisseur de 1 mètre (3 pieds): c'est sur ces déblais que l'on construit le bûcher. Quelquefois on emploie une portion des déblais à élever, le long du bûcher, deux murailles verticales qui obligent la flamme à frapper le toit de l'excavation. Lorsque les masses

ont 60 à 80 mètres (180 à 240 pieds) de longueur, les ouvriers sortent de la mine, à moins qu'elle ne soit immense et qu'ils puissent alors se retirer dans une partie très-éloignée de celle en feu.

Le travail par le feu a l'avantage de mettre à découvert une grande masse de minerai à la fois, d'occasioner peu de travail de main-d'œuvre, et de s'appliquer aux substances les plus tenaces; mais il ne convient guère que dans les mines où l'on peut pratiquer de vastes excavations qui ont de nombreuses ouvertures au jour, et où la circulation de l'air est très-rapide, pour emporter les vapeurs qui pourraient suffoquer les ouvriers. Quelquefois, lorsque le feu est éteint, les ouvriers viennent jeter de l'eau sur les roches encore brûlantes afin de les faire éclater. Cette opération est très-dangereuse, soit à cause des fragments qui peuvent se détacher, soit à cause de la vapeur qui se produit instantanément en quantité considérable. On devrait, en pareils cas, se servir de longs tuyaux pour diriger l'eau, ou de pompes, ce qui épargnerait aux ouvriers ce travail pénible et dangereux. Toutefois, dans les mines où le feu est en usage, les ouvriers s'accoutument très-bien à ce travail.

La consommation de bois est immense. Dans une mine où il y a 200 ouvriers, on consomme 8774 stères 98 centistères (2000 cordes) de bois par an. On jette le bois par des excavations pratiquées à cet effet.

Les excavations que l'on pratique étant très-considérables, on élève souvent des piliers au milieu des déblais et on les élève à mesure que l'on s'exhausse. On construit ordinairement des piliers en maçonnerie. En entassant les déblais autour, on ne doit jamais laisser dans ceux-ci de charbons; car ces charbons venant à se consumer, lorsqu'on établirait de nouveaux bûchers, grilleraient le minerai, ce qui produirait des vides, d'où résulteraient des affaissements.

Le grand avantage que présente la méthode d'exploitation par le feu, c'est qu'elle fait découvrir à la fois une grande étendue du filon ou du gîte du minerai; elle en fait distinguer les parties riches et celles qui ne le sont pas; de plus, il s'en détache assez souvent des masses considérables de minerais que l'on n'a plus que la peine de briser et d'enlever.

Lorsque les déblais stériles ne suffisent pas pour s'exhausser successivement, la méthode par le feu a cet inconvénient, que le minerai extrait reste fort longtemps dans la mine, non-

seulement plusieurs mois, mais même plusieurs années. Aussi importe-t-il, quand on exploite ainsi par le feu, de préparer dans une autre partie de la mine un travail semblable, afin de donner aux minerais le temps de se refroidir et de ne pas rester dans l'inaction.

De la Poudre.

La poudre est employée pour l'exploitation des substances minérales en petites et en grandes charges, ce qui offre deux cas très-différents. La poudre de mine n'est pas grenue et lissée comme la poudre de chasse, mais en fragments irréguliers plus ou moins gros.

Lorsqu'on enflamme une masse de poudre, les substances qui la constituent produisent, en se combinant, un énorme volume de gaz incandescents, puisqu'il est porté à 400 et même jusqu'à 800 fois le volume de la poudre. Si donc on parvient à enfermer dans l'intérieur d'un massif de roches une certaine quantité de poudre, puis à l'enflammer, la force expansive des gaz de cette poudre, agissant sur les parois de l'espace où ils seront renfermés, fera éclater et produira un fendillement dans la masse, ou même en projettera des fragments.

Emploi de la Poudre en petit.

1° Considérons d'abord l'emploi de la poudre à petites charges. C'est toujours de cette manière que l'on emploie la poudre dans l'intérieur des mines, et presque toujours de même dans les exploitations à ciel ouvert. Dans l'intérieur des mines, la charge varie de 60 à 144 grammes (2 à 5 onces); dans les exploitations à ciel ouvert, de 500 grammes à 1 kilogramme (1 à 2 livres). Cette opération s'appelle *tirer* ou faire jouer la mine.

On peut distinguer deux sortes de *tirage*, l'un qui se pratique dans un terrain sec et découvert, l'autre dans un rocher et couvert d'eau.

Tirage dans un terrain sec.

Il faut successivement forer un trou cylindrique dans le massif que l'on attaque, y introduire la poudre, puis bourrer en conservant un passage pour la mèche; placer cette mèche, enfin y mettre le feu.

Des Outils.

Dans les rocs durs, on emploie, pour forer les trous, un ciseau, dit *fleuret*, terminé par un tranchant en biseau, quel-

quefois un fleuret à couronne composé de deux biseaux croisés, et, dans tous les cas, une pointe quadrangulaire aiguë pour commencer le trou. Dans les roches moins dures, telles que le plâtre, la houille, le sel gemme, on emploie le fleuret et même la tarière ordinaire. Dans le commencement du forage, on se sert d'un fleuret court, afin de le tenir plus commodément, puis, successivement, on en emploie de plus longs. Ce sont des tiges de fer cylindriques dont les dimensions varient. Car on peut percer le trou avec un seul homme qui tient le fleuret de la main gauche et un marteau de la droite; ou bien deux ou même trois hommes peuvent être employés à ce travail : alors un d'eux tient le fleuret, et l'autre, ou les deux autres, frappent avec des masses. Dans tous les cas, le diamètre du fleuret est un peu plus grand que celui de la tige, et le taillant doit être un peu courbe, afin que les angles ne soient pas brisés. Ces outils sont ordinairement en fer, et le biseau et la tête en acier, quelquefois le tout est en acier.

Dimensions des Outils.

Voici les dimensions ordinaires des outils pour le travail à un seul homme. Le premier fleuret a une longueur de 30 centimètres (11 pouces), et 27 millimètres (1 pouce) de diamètre au biseau; le second a de longueur 50 centimètres (1 pied 6 pouces), et 24 millimètres (11 lignes) de diamètre au biseau; le troisième a 70 centimètres (2 pieds 2 pouces), et 22 millimètres (10 lignes). On fore avec ces outils des trous de mine dont la profondeur varie de 30 à 56 centimètres (de 11 à 20 pouces). Pour le travail à deux ou trois hommes, le premier fleuret a 67 centimètres (2 pieds 10 lignes) de longueur, et 42 millimètres (19 lignes) de diamètre au taillant; le second a 90 centimètres (2 pieds 9 pouces) de longueur, et 36 millimètres (16 lignes) de diamètre au taillant; le troisième a 1 mètre (3 pieds) et 36 millimètres (16 lignes); le quatrième à 1 mètre 15 centimètres (3 pieds 1/2) et 31 millimètres (14 lignes). On pratique, à l'aide de ces outils, des trous de 57 à 90 centimètres (1 pied 9 pouces à 2 pieds 9 pouces) de profondeur. Pour le travail à un seul homme, on se sert, pour frapper le fleuret, d'un marteau à main, pesant de 1 kilogramme 500 grammes à 3 kilogrammes (3 à 6 livres). Dans le travail à deux ou à trois hommes, les masses pèsent 4 kilogrammes (8 livres). Pour forer le trou de mine, il faut, à chaque coup que l'on frappe sur la tête du fleuret, tourner

celui-ci de 174 ou 176 de circonférence. Lorsque la poussière produite gêne au fond du trou l'action du fleuret, on la retire au moyen de la curette. C'est une tige de fer plate terminée par une cuiller recourbée, ou une petite plaque. La longueur de tige de la curette doit excéder la plus grande profondeur des trous. Si le rocher est très-sec, il faut jeter de l'eau dans le trou, afin de faciliter l'effet de l'outil et en même temps l'empêcher de se détremper. Quand le trou est achevé, il convient de le sécher, même quand on n'y aurait pas introduit d'eau. Pour cela, on se sert d'un tampon d'étoupe placé au bout de la curette.

La profondeur des trous de mine varie suivant la dureté du roc et la manière dont ce roc est engagé dans la masse. Quand ce dernier y est entièrement engagé, il convient de faire les trous moins profonds. Les petits trous de mine ordinaires ont 3 à 4 centimètres (14 à 18 lignes) de diamètre, leur profondeur n'est alors que de 4 à 5 décimètres (15 à 18 pouces). Il s'agit alors de porter dans le trou une charge de poudre que l'on appelle cartouche. La cartouche est ordinairement en papier gris, elle est cylindrique, d'un diamètre à peu près égal à celui du trou, et contient une quantité de poudre plus ou moins grande. Elle est formée sur un mandrin en bois d'un diamètre un peu moindre que celui du trou de mine. On ferme une des extrémités en ayant soin, toutefois, de laisser dépasser le papier; on remplit de poudre, mais de manière à ce que le papier dépasse également par la partie supérieure; puis on reploie les bords du papier qu'on consolide en frappant doucement la cartouche dans le sens de son axe. Ces cartouches contiennent ordinairement 6 à 12 et, rarement, 25 hectogrammes de poudre. Pour charger la mine, on commence par mettre la cartouche au fond du trou : on dispose ensuite l'épinglette sur un des côtés; enfin, on bouche le trou en le bourrant depuis le fond jusqu'à l'origine. L'épinglette est en fer, en laiton ou en cuivre, terminée, d'une part, en pointe, et de l'autre par un anneau. On la descend par cet anneau jusqu'à ce qu'elle rencontre la cartouche, on la fait entrer de quelques millimètres, de manière à mettre cette cartouche en communication avec l'extérieur. La cartouche étant introduite ainsi que l'épinglette, il s'agit de bourrer, c'est-à-dire de fermer l'excédant du trou de mine, de telle manière que la bourre soit plus résistante que la roche que l'on veut faire sauter; car autrement la bourre serait seule chassée. On emploie,

pour bourrer, un outil nommé bourroir, formé d'une tige en fer, terminée par un renflement dont le diamètre est à très-peu près celui du trou. Ce renflement porte une gouttière pour le passage de l'épinglette. On commence par enfoncer une pelote d'argile que l'on charge faiblement; une seconde est bourrée davantage; enfin, avec le bourroir, on tasse une dernière pelote, de manière que le trou soit complètement fermé. A mesure que l'on opère, on tourne l'épinglette pour empêcher qu'elle n'adhère à l'argile. Le diamètre de cette épinglette est de 4 à 5 millimètres (2 lignes à 2 lignes 1/2). On conçoit que l'épinglette en cuivre ou en laiton doit être préférée à celle en fer; car si, en tournant cette épinglette, on rencontre un morceau de quartz, il est à craindre qu'une étincelle venant à se manifester, le feu ne prenne à la poudre de la cartouche. Le bourrage terminé, on retire l'épinglette, mais bien en droite ligne, de manière qu'aucune parcelle ne vienne engorger le vide qu'elle laisse. Il reste maintenant à amorcer, ce qui s'exécute de bien des manières différentes. En premier lieu, on peut remplir le trou de l'épinglette avec de la poudre fine, puis mettre le feu à cette poudre; mais ce moyen est dispendieux. On peut placer dans le trou de l'épinglette un tuyau de paille rempli de poudre fine, ainsi que cela se pratique aux carrières des environs de Paris. Enfin, on peut, et c'est le procédé le plus usité, amorcer avec une mèche de papier imprégnée de poudre. Pour cela faire, on délaie de la poudre dans l'eau chaude, puis on l'étend sur du papier que l'on coupe en lanières lorsqu'il est sec. On forme avec ces lanières de très-petits cylindres que l'on introduit les uns dans les autres pour garnir le trou de l'épinglette dans toute sa hauteur. La mèche placée, on suspend à son extrémité un bout de fil soufré qui a 1 décimètre (3 pouc. 8 lig.) de longueur, et que l'on replie horizontalement sur le sol. On met le feu; cette mèche étant lente à brûler, donne aux ouvriers le temps d'opérer leur retraite. Il y a des mines où l'on ne se sert pas d'épinglettes; mais on emploie une baguette de bois creuse, on l'introduit dans la cartouche, ainsi qu'il a été dit; on remplit de poudre fine, et l'on bourre ensuite suivant la méthode indiquée. Cette baguette présente un avantage, c'est que, lorsque la mine est longtemps chargée, la poudre contracte moins d'humidité. Elle offre, d'une autre part, cet inconvénient de s'écraser quelquefois dans le bourrage. Cette méthode ne peut d'ailleurs être employée que lorsque le trou est de haut en bas.

Telle est la marche générale de l'opération par laquelle on excave à l'aide de la poudre. Nous allons maintenant examiner la position qu'il convient de donner aux trous de mines, et les précautions qu'il convient de prendre pour leur assurer le plus grand effet possible.

Position des trous de mine.

La règle générale à suivre à cet égard, consiste à placer le trou de manière à ce que la portion que l'on veut faire sauter offre une résistance inférieure à celle des parties environnantes, et, comme l'effort de la poudre s'exerce proportionnellement à l'étendue de la surface soumise à son action, il faut faire en sorte que la partie que l'on veut exploiter offre une grande surface à la cartouche; par conséquent, il vaut mieux faire le trou de mine oblique que perpendiculaire. On conçoit aisément que, dans l'emploi de la poudre, comme dans celui des outils, il y a avantage à faire une entaille, afin que les masses à abattre se trouvent dégagées sur plusieurs faces. Dans une galerie percée dans des vallées non stratifiées, on fait l'entaille au sol de la galerie, afin que le poids des masses aide à les détacher, et on se dirige d'après les principes précédents. Quand on travaille au bout d'une galerie, il faut avoir égard au terrain dans lequel on est. Si le terrain est feuilleté, il faut, autant que faire se pourra, percer un trou perpendiculaire au plan des feuillets. Si les feuillets plongent en s'éloignant de l'ouvrier, on fait le trou de l'entaille au sol; dans le cas contraire, on fait l'entaille au faîte.

Dans les filons on pratique souvent une entaille au mur, le long de la salbande, à l'aide d'outils; puis, au moyen de la poudre, on fait sauter le massif que l'on a dégagé. Lorsque les filons sont très-peu épais, ou qu'ils donnent lieu à des poussières qu'il serait dangereux de respirer, on pratique les trous dans le toit ou dans le mur, en les inclinant vers le filon. Dans les puits où l'on a presque toujours de l'eau, c'est ordinairement vers un des bouts que l'on fait une entaille, et l'on a soin de la conserver, dans l'une de ses extrémités, plus profonde pour recevoir les eaux.

Profondeur des trous de mine.

La profondeur des trous de mine dépend de la nature du rocher, et de la forme qu'il présente. Lorsqu'on pratique une entaille, on fait des trous peu profonds; sans cela, leur effet

serait nul. On peut leur donner plus de profondeur quand la roche est dégagée par une entaille. Dans les roches feuilletées et dans celles qui cassent bien, c'est-à-dire qui se détachent par larges fragments, on peut donner plus de profondeur aux trous. Au reste, on ne peut, à cet égard, assigner des règles fixes, et c'est par l'expérience que l'on acquiert sur les roches que l'on veut excaver, que l'on parvient à obtenir le meilleur effet possible, en variant la profondeur des trous de mine et les charges de poudre employée.

Il ne faut pas oublier que l'objet du tirage est, non pas de faire sauter la substance minérale que l'on attaque, mais de la faire éclater, de la fendiller, et même de l'ébranler seulement, de manière qu'après l'explosion il soit facile de la détacher au moyen des outils. Lorsqu'un trou de mine projette aux environs des fragments considérables, on peut affirmer qu'il y a eu perte d'effet; car la force employée à lancer ces fragments pouvait l'être à fendiller une autre partie du rocher.

Précautions à prendre.

Pour que le tirage réussisse, il faut, si le roc est humide, le sécher. Lorsque des fissures laissent suinter l'eau dans le trou, ou lorsque des cavités dans la roche, en facilitant l'expansion des gaz, peuvent nuire à l'effet de la poudre, il faut enfoncer dans le trou de l'argile que l'on bourre fortement. Lorsqu'on juge que les cavités sont bouchées, on nettoie le trou, et l'on continue comme à l'ordinaire. Si ce moyen ne suffit pas à cause de la trop grande quantité d'eau, il faut employer une cartouche en toile goudronnée. Pour ce qui a rapport à la sûreté des ouvriers, il faut, en premier lieu, ne faire usage que d'épinglettes en cuivre ou en laiton. Celles en fer, si l'on veut les employer, doivent être graissées dans toute leur longueur. Si l'on trouve les épinglettes en laiton trop flexibles, il faut, dans ce cas, entourer une épinglette de fer d'un cylindre de cuivre. Il est bon aussi que les tirages se passent à la même heure dans un même poste, afin que les ouvriers qui vont et viennent ne soient pas exposés à être blessés. Les ouvriers, après avoir mis le feu à l'amorce, doivent se retirer dans un lieu où les éclats ne puissent pas les atteindre. Dans les galeries, lorsqu'elles sont sinueuses, on se retire derrière un coude. Si elles sont droites, on se retire dans une niche faite exprès, ou derrière les cadres de boisage, s'il y a lieu. Dans les puits, il faut pratiquer, à 15

ou 20 mètres au-dessus du fond, un plancher sur lequel se placent les ouvriers durant l'explosion. Dans certains endroits, en pareil cas, on ne met pas d'amorce au trou, mais on sème de la poudre à l'entour de l'extrémité de la mèche, puis on laisse tomber du haut des charbons embrasés. Lorsque l'explosion n'a pas lieu spontanément, il faut prendre les plus grandes précautions, et ne s'approcher du trou que dix ou douze minutes après, car il arrive que l'explosion n'est que retardée. Lorsqu'on s'est ainsi assuré qu'elle n'aura pas lieu, on revient au trou, on retire la mèche et on la remplace. Si l'on n'obtient aucun résultat après cette nouvelle tentative, il est à croire que l'humidité a gagné la cartouche, et l'on doit abandonner ce trou, sans toutefois le décharger, mais le tamponner avec de l'argile et en forer un autre à quelque distance. C'est pour avoir négligé de prendre toutes ces précautions que beaucoup d'ouvriers ont été et sont encore aujourd'hui victimes de leur imprudence.

Des méthodes de bourrage.

On a employé diverses méthodes de bourrage dans le but d'augmenter les effets de la poudre, et par suite d'économiser la quantité que l'on emploie. Dans quelques mines, on bourre le trou avec un tampon de bois à peu près cylindrique et un peu aminci vers le bout, de sorte que le milieu a le diamètre du trou. On pratique sur le côté une petite cannelure, pour donner passage à l'épinglette, et par suite à la mèche. Le tampon ne doit pas toucher la cartouche, parce que la poudre comprimée produit moins d'effet que celle qui ne l'est pas.

Un autre moyen de bourrer, employé quelquefois avec avantage, est le bourrage au sable. Il réussit très-bien quand on emploie de grandes cartouches dans des trous de très-grandes dimensions, et lorsque la roche que l'on exploite n'est pas trop dure. Ce moyen, qui est fort simple, qui évite tous les dangers qui ont lieu quand on est obligé de bourrer dans un roc qui peut faire feu par le choc, ne réussit pas également quand on l'emploie en petit. Il a été essayé dans le granit et le roc quartzeux, sans aucun résultat satisfaisant.

Résultats obtenus.

Voici quelques résultats obtenus au moyen de la poudre. Dans les carrières à couches horizontales, on emploie de grandes quantités de poudre à la fois, et l'on parvient à ébran-

ler une grande masse de pierres. Une cartouche de 12 hectogrammes (4 onces) soulève 20 quintaux métriques de pierres, et en ébranle autant. Dans les carrières à plâtre de Montmartre, 1/2 à 1 kilogramme de poudre détache 8 à 16 mètres cubes. A Soleure, avec 5 à 6 kilogrammes de poudre, dans des trous de 3, 4, 5 mètres de profondeur, on ébranle 50 à 60 mètres cubes de terrain. Dans les mines de Bonchamp, une cartouche de 62 grammes détache 1/2 à 4 mètres cubes. Dans les mêmes mines, dans un grès quartzeux très-dur, 2 hectogrammes ne peuvent soulever que 1 à 2 quintaux métriques. Dans les mines de Pezay, dans un roc quartzeux dur, on employait des cartouches de 62 grammes. On usait 17 kilogrammes de poudre pour 200 quintaux métriques, ce qui ne donne pas un quintal métrique par cartouche.

Les outils ont souvent besoin d'être réparés, et s'usent très-promptement. Dans un mois de travail, les outils d'un mineur perdent environ 2 kilogrammes de leur poids. La tête des fleurets n'est ordinairement aciérée qu'une fois, tandis que l'autre extrémité est aciérée deux et trois fois par mois, et remise au feu quinze et vingt fois.

Tirage sous l'eau.

Le trou de mine qu'il faut percer est souvent situé sous une petite masse d'eau de quelques centimètres d'épaisseur; l'ouvrier perce le trou dans le roc qu'il aperçoit souvent à travers l'eau. Ce trou une fois percé, voici comme il parvient à le charger: il y descend une cartouche goudronnée, de manière que l'extrémité supérieure s'élève de quelques centimètres au-dessus de l'eau; il place l'épinglette et bourre légèrement. La cartouche est surmontée d'un petit tube en carton vernissé ou en papier goudronné, ou même en toile imperméable à l'eau. Enfin, on peut employer un petit tube de fer-blanc qui s'adapte sur la cartouche, et qui est goudronné à sa jonction. Ce procédé de tirage sons l'eau est souvent mis en pratique dans les mines de houille de Valenciennes, de Mons et de Liège. Au lieu de cartouches goudronnées, on a quelquefois employé des cartouches en cuir, qu'on nomme *gargousses*. Dans le cas où il y a une épaisseur d'eau assez considérable, 1 à 2 mètres (3 à 6 pieds), on pourrait, par les moyens précédents et en se servant d'outils plus longs, creuser le trou, charger et amorcer; mais on modifie ces deux dernières opérations de la manière suivante: lorsque le trou est percé, on

introduit un tuyau de fer-blanc qui descend jusqu'au fond du trou ; ce tube est bouché au fond et reçoit la cartouche. On place sur un des côtés du tuyau une mèche très-combustible, et l'on pousse la mèche et la cartouche jusqu'au fond du trou, en ayant soin de retenir l'extrémité supérieure de la première. On bourre avec du sable, et on met le feu à la mèche. L'explosion a lieu dans l'extrémité du tube, qui se brise par l'effet de la poudre qui fait éclater le rocher. Au lieu de bourrer en sable, on peut de même bourrer avec de l'argile ou du plâtre. Si la cartouche et son tube d'amorce sont goudronnés, on se contente d'enfoncer le tube en fer-blanc de façon qu'il se remplisse d'eau, et que la mèche ne soit pas mouillée ; l'eau fait alors l'office de bourre. En mettant le feu, le bas du tube est brisé, et la poudre produit son effet, comme si elle avait été renfermée dans du papier. Le tube de fer-blanc peut servir à plusieurs tirages.

Il y a une quarantaine d'années qu'il s'agissait de débarrasser le lit de la Seine de rochers considérables qui avoisinaient Quillebeuf. L'Académie des sciences proposa une médaille pour l'auteur du procédé qui serait jugé le plus avantageux et le plus commode. Coulomb proposa le suivant : une masse d'eau considérable ne permettait pas de creuser les trous de mine par les moyens ordinaires ; c'est pourquoi il fallait aviser au moyen de travailler sous l'eau. Une grande caisse trapézoïdale devait être échouée sur le rocher, et recevoir les ouvriers, comme les cloches à plongeurs reçoivent les pêcheurs. Au lieu de faire à la caisse un fond supérieur immobile, on y adaptait une trappe par laquelle les ouvriers pouvaient descendre sur leur banc de travail. Alors, pour abaisser le niveau de l'eau dans la caisse, au lieu d'employer le secours de machines considérables pour la soulever et la descendre à chaque reprise de travail, une machine soufflante faisait l'office d'une pompe à injecter et comprimer l'air dans la caisse, la trappe supérieure étant susceptible de se fermer hermétiquement. Le rocher pouvait, de cette manière, être mis à sec, le trou de mine percé, chargé et amorcé facilement. Comme la marée venait interrompre le travail et empêcher de faire partir la mine, on s'arrangeait de façon à n'y mettre le feu qu'à la marée basse. Le tube d'amorce était ou en fer-blanc, ou en carton, ou en toile goudronnée. On bouchait le haut avec du suif, et on y attachait un flotteur. Quand la mer était retirée, le tube dépassait le niveau de l'eau, et on pouvait en-

flammer l'amorce. Un tube d'amorce, fait en toile goudronnée et gonflée par une spirale en fil de fer, était préférable à ceux même de fer-blanc, parce que, sans souffrir le moins du monde, il pouvait céder à l'action du flotteur.

En Angleterre, dans les mêmes circonstances, on a employé des moyens semblables; seulement à la grande caisse en bois on a substitué une cloche à plongeur proprement dite. Elle consiste en une caisse prismatique en fonte, ayant 1 mètre (3 pieds) de long sur 1 mètre 3 (4 pieds) de large et 1 mètre 66 (5 pieds) de hauteur; son épaisseur est plus considérable en bas qu'en haut, afin qu'elle ne puisse basculer: cette épaisseur va jusqu'à 2 pouces (54 millimètres) en bas; en haut, elle n'est que de 4 centimètres (un pouce et demi). Cette cloche est mue par une grue placée sur un radeau ou sur une barque. Le haut de la cloche est muni de verres bi-convexes, pour que les ouvriers puissent y voir. Ces verres bi-convexes sont épais pour résister aux chocs, et sont semblables en tous points à ceux que l'on voit sur le pont des navires. Deux ouvriers au plus peuvent travailler sous cette cloche; une chaînette leur sert pour avertir ceux qui manœuvrent la grue, soit de changer de place, ce que souvent ils font eux-mêmes, en la poussant, soit pour la faire enlever. Les tubes d'amorce se vissent les uns sur les autres à mesure que la cloche s'élève; car on ne pourrait les ajuster tous en une seule fois, à cause du peu de hauteur de la cloche, à moins qu'ils ne fussent flexibles. La cartouche est le plus souvent renfermée dans un cylindre d'étain, ou de fer-blanc. On ne remplit pas les tubes de poudre, si ce n'est à leur extrémité inférieure et à quelques centimètres de hauteur. On met le feu en jetant dans le tube d'amorce soit de petits morceaux de charbon allumé, ou plus souvent de la fonte rougie au feu qui descend plus sûrement que le charbon au fond du long tube. Le radeau ou bateau voisin ne ressent aucune secousse. On n'aperçoit qu'un frémissement dans l'eau par suite du son, puis un bouillonnement occasioné par le dégagement des gaz. En Angleterre, on adapte ordinairement à la cloche une pompe foulante pour renouveler l'air, et se dispenser par là de soulever la cloche hors de l'eau, dans le même but. Ces méthodes d'employer la poudre sous l'eau, peuvent être très-utiles dans l'intérieur des mines, où, malgré les machines d'épuisement, il y a toujours quelques centimètres d'eau, au fond des puits par exemple: elles peuvent l'être également dans les ports de mer,

les rades, etc., et en général dans tous les travaux hydrauliques.

Emploi de la poudre en grand.

On emploie la poudre en grande quantité, quand on veut renverser des murailles, ébranler ou diviser de gandes masses de terrains, occasioner des éboulements dans les mines. Dans cette manière d'employer la poudre, deux obstacles sont à vaincre, la masse et la cohésion. On sait qu'à densité égale à l'unité, la masse ou poids est proportionnelle au volume, et la cohésion proportionnelle aux surfaces. Or le volume d'un solide est proportionnel au cube d'une de ses dimensions, la surface au quarré seulement; et, comme les cubes croissent plus rapidement que les quarrés, il s'ensuit que dans une masse à soulever, le poids est un plus grand obstacle que la cohésion, lorsque cette masse à soulever est petite, que lorsqu'elle est considérable. Ainsi, plus la masse croîtra en volume, plus son poids mettra d'obstacle à la force de la poudre. Quand le mineur a déterminé le point sous lequel il veut établir un *fourneau*, suivant l'expression des mineurs, il perce un puits vertical, dont la profondeur doit être égale à la distance de la surface du sol au fourneau; puis du fond de ce puits il pousse une galerie à 15 décimètres (4 pieds 7 pouces) du centre du fourneau. Il la mène ordinairement en ligne droite: ses dimensions sont les plus petites possibles; sa largeur est de 6 à 7 décimètres (1 pied 10 pouces à 2 pieds 2 pouces), sa hauteur 12 à 15 décimètres (3 pieds 8 pouces à 4 pieds 7 pouces). Arrivé à cette distance, il fait un coude à la galerie, et pratique, sur le côté, la chambre du fourneau. Elle consiste en une cavité ordinairement cubique, dont les dimensions sont réglées d'après celles d'un coffre également cubique, et rempli de la quantité de poudre que l'on veut employer. Dans l'intervalle qui reste entre les parois du coffre et celles du fourneau, on tasse quelques mottes de gazon et de la paille, pour préserver la poudre de l'humidité. Au milieu de la face du coffre qui est sur la galerie, on adapte une petite auge destinée à recevoir un saucisson de poudre qui communique avec le coffre. Ce saucisson se prolonge dans la galerie à une distance telle que l'on puisse y mettre le feu sans danger; quelquefois il va jusqu'au puits, quelquefois même il en sort. Cela fait, il faut encore barricader le fourneau avec de la maçonnerie, des arcs-boutants, ou de la terre bien tassée. On remplit ainsi un espace égal au moins à une fois et demie ou deux fois la

distance du fourneau à la surface du sol. On prend cette précaution, afin que l'effort de la poudre s'exerce principalement de bas en haut, et sur la partie du terrain qui est au-dessus du fourneau. Souvent on ajoute à ce soin celui de pousser la galerie en zig-zag dans le voisinage du fourneau; alors la terre qui obstrue la galerie ne peut être lancée par l'explosion. En France, on amorce ainsi qu'il suit : à l'extrémité du saucisson, et de manière à communiquer avec lui, on verse un peu de poudre que l'on a soin de recouvrir d'une feuille de papier. Au centre de ce papier, on implante verticalement un petit morceau d'amadou, qui s'élève de quelques centimètres en guise de mèche : on y met le feu et on se retire, ce qui, au reste, n'est pas toujours nécessaire, quand l'extrémité de la galerie est éloignée du fourneau. La seconde méthode d'amorcer consiste à introduire, dans le bout du saucisson, une fusée de bombe ou de grenade, et à boucher cette extrémité avec de la glaise; mais alors il faut bien éviter de laisser épars alentour du saucisson des grains de poudre, car la négligence pourrait être fatale.

Dans un coup de mine, le solide projeté ou déplacé laisse dans le terrain une cavité que l'on a nommée *l'entonnoir* de la mine, à cause de sa forme. Si l'on conçoit la poudre sous une enveloppe sphérique et renfermée dans un fourneau de même forme; si l'on suppose en outre que le terrain soit incompressible au-dessous de cette sphère, et sur ses côtés, jusqu'au plan horizontal qui passerait par son centre, alors l'effort exercé par l'inflammation des gaz de la poudre n'aura d'effet qu'au-dessus de ce plan; dans ce cas, l'expérience porte à conclure que l'ouverture faite dans le sol, par le coup de mine, aurait la forme d'un tronc de cône ayant pour petite base le grand cercle horizontal de la sphère de poudre, et dont les côtés envelopperaient cette sphère. Quant à la plus grande base située à la surface du sol, son diamètre serait d'autant moindre que le fourneau serait situé plus profondément dans le sol; en d'autres termes, le cône ou entonnoir aurait un angle d'autant plus aigu, que la poudre serait plus avant en terre. Mais cette supposition d'un terrain incompressible n'existe pas dans la pratique. La terre est refoulée au-dessous et sur les parois du fourneau; les parois de l'ouverture ne sont pas côniques, mais ont une certaine courbure, et on peut regarder la surface intérieure comme celle d'un paraboloïde à peu près. On a cherché s'il n'existe pas un rapport entre les dia-

mètres des deux bases de l'entonnoir et la profondeur de cet entonnoir : il a été reconnu que le plus souvent le grand diamètre de l'entonnoir est égal à deux fois la distance du sol au fourneau ; que cette distance est égale au diamètre de l'entonnoir au niveau du fourneau, et que l'abaissement de l'entonnoir au-dessous du fourneau est le quart du grand diamètre. Pendant longtemps on a eu l'opinion que ce rapport entre les diverses dimensions de l'entonnoir était constant ; mais il est évident que ce rapport doit changer dans les terrains de différente nature, quand on emploie des charges différentes, et quand ces charges sont faites à différentes profondeurs.

Par de nombreuses expériences, on a reconnu que la quantité de déblais était les $^7/_8$ du volume V du cône entier. Comme à ce volume est proportionnelle la quantité de poudre employée, en représentant par q la quantité de poudre en poids nécessaire pour soulever l'unité de volume de terre (un pied cube) ; q a été trouvé, par expérience, être égal à $^1/_{18}$. On a trouvé que le volume de l'entonnoir $V = 1{,}83 \times H^3 \times q$ (H représente la distance du fourneau à la distance du sol). En remplaçant q par sa valeur $^1/_{18}$, on aura pour le volume de déblais : $V = \frac{1{,}83}{18} \times H^3$; ou, comme la fraction égale $^1/_{10}$ à très-peu près : $V = \frac{H^3}{10}$

H est exprimée en unités de mesure, en pieds, pouces ou lignes. On peut arriver à cette expression de V d'une manière plus directe en partant de cette donnée de l'expérience, que des quantités Q et q de poudre, dont la seconde est équivalente à $^1/_{18}$, qui donnent un volume V pour l'un, et 1 pied cube pour l'autre, de déblais, sont entre elles dans le rapport de $T^2 R$ à $t^2 r$ (R et r étant les rayons des cercles d'explosion que chacune de ces quantités de poudre produit, et T et t les rayons des bases des entonnoirs à la hauteur des fourneaux) ; on a donc : $\frac{Q}{T^2 R} = \frac{q}{t^2 r}$. Or, on a trouvé que le rapport constant $\frac{q}{t^2 r} = \frac{1}{14}$. Si donc on remplace

$\frac{q}{t^2 r}$ par son équivalent, on aura l'équation $Q = \frac{T^2 R}{14}$; d'où l'on pourra avoir la valeur de Q, c'est-à-dire de la charge de poudre. D'après la nature de R, H et T on a l'équation $R^2 = H^2 + T^2$, d'où $R = \sqrt{T^2 + H^2}$; donc : $Q = \frac{T^2 \sqrt{T^2 + H^2}}{14}$, et dans le cas le plus ordinaire où $H = T$, c'est-à-dire le rayon du cercle d'explosion égal à la distance du fourneau à la surface du sol ; alors : $Q = \frac{T^3 \sqrt{2}}{14} = \frac{H^3 \sqrt{2}}{14} = \frac{H^3}{10}$ à peu près : nous retombons sur l'expression $V = \frac{H^3}{10}$. L'expression $Q = \frac{T^2 R}{14}$ convient seulement quand le terrain n'est pas trop résistant ; mais, pour d'autres terrains de diverses natures, il faut multiplier cette expression par divers coefficients ; ainsi, ces coefficients sont :

Pour les terrains de tuf et de sable. . . .	1,30
Pour l'argile forte ou la maçonnerie neuve.	1,40
Pour le sable mouvant.	1,50
Pour la maçonnerie vieille.	1,55
Pour la pierre de taille.	1,75

Les formules que nous venons d'établir sont utiles dans la pratique. Veut-on savoir, par exemple, si, à une distance fixée, on pourra, avec une quantité de poudre donnée, abattre une masse quelconque, un pan de muraille ; on calculera le rayon du cercle d'explosion d'après les équations

$$V = \frac{\pi H N^2}{3} = T^2 \left(H + B\right) \frac{\pi}{3};$$

$$M^2 = H^2 + N^2, \text{ et } t\,(H + B) = T\,H.$$

(B est l'épaisseur de la couche de terre meuble, et T le rayon du cercle d'explosion), qui donneront, de plus, les rayons des bases de l'entonnoir.

Les formules suivantes font connaître l'économie que l'on peut apporter dans la dépense de la poudre. Voici quelques données avec les résultats :

Quantité de poudre Q.	Profondeur H.	Entonnoir T.	Rayon du cercle d'explosion R.	Rayon de la sphère friable M.	Plus grand rayon des cercles friables N.
kilog.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
50	3,30	3,30	4,65	6,70	6
86	4	4	5,65	7,70	6,65
205	5,30	5,30	7,30	9,70	8,30
1800	4	12	12,60	20,60	20
1500	5,30	11	12	18	17

On a souvent besoin, dans l'exploitation des mines, de faire tomber le faîte des chambres, afin d'avoir des déblais, soit pour combler des galeries que l'on abandonne, soit pour en extraire du minerai. Rien de plus facile que d'atteindre ce but. Les voûtes sont toujours soutenues par des étais; tout se réduit à les faire sauter. On établit un fourneau près du pied de l'étançon principal; celui-ci sautant, la voûte tombe. On emploie encore la poudre pour ouvrir promptement et sans danger une voie à un amas d'eau dont on a reconnu l'existence. On perce le fourneau au fond de la galerie la plus voisine de l'eau, et tellement que l'explosion fait sauter l'intervalle qui sépare le fond de la galerie de l'eau. Avant de mettre le feu, on a soin de tout disposer pour que l'on puisse épuiser l'eau ou la conduire à des galeries d'écoulement.

Observations sur les effets de la Poudre.

Parmi les circonstances qui tendent à modifier les effets de la poudre, on doit mettre en première ligne le bourrage. On sait que le bourrage a pour but de mettre empêchement au dégagement des gaz de la poudre, et de faire porter leur effort expansif sur les portions de masse que l'on veut culbuter. On bourre dans les armes à feu pour donner le temps à tous les grains de poudre de s'enflammer avant que le projectile soit mis en mouvement.

Dans le tirage de la poudre en petite quantité, le bourrage

au sable, ou avec de la cendre et du son, suffit presque toujours pour empêcher la sortie des gaz de la poudre avant que la roche n'ait été brisée et renversée. Dans ce cas, il est évident que ce n'est pas par son poids ni son adhérence aux parois, que la bourre résiste au choc de la poudre; mais bien, parce que les molécules de cette bourre étant peu serrées, sont susceptibles de se tasser et de se fouler les unes sur les autres; en sorte que, pendant ce refoulement des molécules de proche en proche, la roche, brisée par l'effet de la poudre, éclate et se divise. Dans les mines militaires où l'on emploie de très-grandes quantités de poudre, les effets sont très-différents pour une même quantité de poudre, selon la nature du bourrage. Des expériences ont été faites pour s'assurer si, dans les coups de mine, la force de la poudre s'accroît avec la résistance de la bourre. Le général au génie Marescot a fait percer deux puits de même profondeur, mais d'inégal diamètre : la profondeur était de 5 mètres (15 pieds). Ces puits étaient placés à une distance de 3 mètres 33 centim. (10 pieds) l'un de l'autre : le but était de faire sauter le massif de terre compris entre les deux puits. Le plus petit fut seul chargé toujours d'une même quantité de poudre, mais d'un bourrage que l'on fit monter successivement au quart, à la moitié, aux trois quarts et au comble du trou. L'effet produit dans ces diverses circonstances devait faire connaître l'opinion à laquelle on devait se fixer : or, l'effet ayant été le plus considérable quand le bourrage a été porté jusqu'au comble du puits, on en conclut que dans les coups de mine, aussi, l'effet de la poudre s'accroît avec la résistance qu'on lui oppose.

Une autre circonstance qui paraît modifier les effets de la poudre, c'est la présence de l'air dans l'espace où la poudre agit. Un fait bien anciennement reconnu, est que quand on laisse introduire de l'air entre la poudre et la bourre d'un fusil, ce fusil crève, quoique le coup parte. Il est donc évident que l'air a augmenté la force expansive des gaz de la poudre. Pourquoi et comment, c'est ce qui est indécis. Quelques-uns disent que l'air favorise l'action chimique qui a lieu dans l'inflammation de la poudre; d'autres veulent que ce soit sa dilatation jointe à celle des gaz, ou que l'action de la poudre s'exerce sur une plus grande surface, et qu'une force vive s'unit à la force expansive des gaz. Il ne nous appartient pas de trancher sur ces diverses opinions. Nous nous bornerons à poser la question de savoir, si, dans les coups de mine, un vo-

lume d'air laissé entre la poudre et la bourre peut influer sur les effets de la première. Des expériences ont été faites à ce sujet. On a fabriqué des tampons en bois percés d'un trou de petit diamètre pour l'amorce, et qu'on a placés à quelque distance de la poudre, dans le trou de mine; ensuite on a bourré par-dessus, comme à l'ordinaire. On a trouvé, en essayant deux quantités égales de poudre dans des terrains semblables, mais en bourrant pour l'une de façon à laisser de l'air, et pour l'autre à n'en pas laisser, que pour produire des effets égaux, on pouvait retrancher $^1/_7$ de la charge en poudre, dans le premier cas. Cette économie paraîtra sans doute bien faible pour les mines à petites charges; mais elle peut être de quelque importance dans l'emploi de la poudre en grand. On en a fait un grand usage dans quelques mines de l'Allemagne. Pour conserver toujours et sûrement un volume constant d'air entre la bourre et la poudre, on se servait d'un tampon consistant en deux rondelles de bois, réunies par une tige de bois, et tenues, par ce moyen, à une distance constante l'une de l'autre. Quand on diminue la quantité de la poudre, les éclats de rochers, quoique en aussi grande quantité que si on eût bourré comme à l'ordinaire, ne sont pas lancés aussi loin, et le déchirement des roches n'est pas aussi grand. Les masses sont seulement assez fendillées pour qu'il devienne facile de les entamer avec les outils. L'effet produit est analogue à celui d'une balle qui, lorsqu'elle vient mourir contre une vitre, la brise en mille éclats, tandis que si elle a la rapidité que lui imprime la poudre au sortir du fusil, elle traverse la vitre en n'y faisant d'autre rupture qu'un trou de même diamètre qu'elle. De même aussi en diminuant la quantité de poudre de la charge d'une mine, on diminue cette force irrésistible qui, non-seulement, détache les blocs de pierre, mais encore les projette à une grande distance, sans que cet effort soit utilisé d'aucune manière.

On a annoncé qu'il n'était pas nuisible pour l'effet que doit produire la poudre, d'y mêler un tiers de son poids de chaux bien pulvérisée. En France, on a remplacé la chaux par de la sciure de bois séchée au four. Rien de certain sur ce mode d'économie n'a été encore établi. On a aussi proposé de mettre dans la cartouche un cylindre de bois; ce qui diminue évidemment la dépense en poudre. Cette idée a été mise en pratique à Liége, à Villefort, à Montmartre, et aucun résultat défavorable n'a été obtenu. Cette méthode de mettre un cylin-

dre de bois dans la cartouche repose sur cette pensée, que, par là, une force vive concourant avec la force expansive de la poudre, toutes choses égales d'ailleurs pour les résistances opposées, l'effort de la poudre doit croître en même temps que la surface sur laquelle la poudre s'enflamme. C'est pour cette raison que si on mêle le plomb à la poudre en chargeant un fusil, il crève quand on fait feu.

La poudre est composée, comme on sait, de charbon, soufre et nitre. Dans celle des mines il entre 75 de nitre, 12,50 de soufre et 12,50 de charbon; quelquefois 11 de soufre et 14 de charbon. La poudre de mine doit être à gros grains, et non pulvérulente, car sous ce dernier état elle absorberait trop facilement et trop abondamment l'humidité de l'air; la poudre à canon est à grains moins gros; celle de chasse est à petits grains. A l'instant où une étincelle tombe sur la poudre, le soufre s'enflamme, le charbon soutient la combustion et celle-ci donne lieu à la décomposition du nitre, et par suite à un dégagement de gaz énormément rapides qui exercent une force expansive d'autant plus grande, qu'à la force comprimante se joint une force vive, dans le cas où la poudre est close dans un certain espace. Ces gaz tendent à se développer sphériquement. On a cherché et trouvé le rayon de la sphère d'expansion des gaz de la poudre au moment de l'incandescence Pour atteindre le but proposé, on a placé de petits tas de poudre à des distances l'un de l'autre telles que le feu pût se propager. En les éloignant jusqu'à ce que la propagation de la flamme n'eût plus lieu, il est évident qu'on a eu la limite du rayon de la sphère des gaz incandescents qui se dégageaient à l'inflammation d'un des tas de poudre. Comparant cette distance limite avec le diamètre du tas, on a trouvé qu'elle était égale à 8 ou 10 fois ce diamètre. Ainsi, en prenant le rayon du volume de la sphère pour unité, celui de la sphère sera entre 8 et 10, et les volumes étant dans le rapport des cubes des rayons, on voit que le volume des gaz incandescents est entre 216 et 1000 fois plus grand que celui de la poudre. On a trouvé aussi la vitesse d'expansion de ces gaz. On a reconnu que la flamme parcourt une traînée de poudre d'une épaisseur constante avec une vitesse uniforme. Cette vitesse est moindre quand la traînée est découverte; elle est plus grande quand la traînée est renfermée dans un espace limité en largeur, comme un tube, par exemple. Dans ce cas, la sphère d'incandescence des gaz éprouvant un obstacle à

son développement dans un certain sens, celui-ci se fait plus rapidement dans le sens où il est libre. C'est ce qui explique la rapidité étonnante de la propagation de la flamme, dans la poudre des armes à feu. En général, une traînée de poudre recouverte brûle dans le quart du temps qui serait nécessaire si elle était découverte. On trouve par expérience que la propagation de la flamme se fait avec une vitesse uniforme, et que l'épaisseur de la traînée augmentant, la vitesse augmente aussi. Deux traînées de poudre d'égale longueur, et dont les épaisseurs sont dans le rapport de 1 à 2, s'enflamment dans des espaces de temps 5 et 7. C'est le rapport des vitesses d'inflammation, et aussi celui des racines quarrées des surfaces de sections des deux traînées. Cela est naturel, puisque la sphère d'incandescence s'accroît avec l'épaisseur. La vitesse de propagation de la flamme à travers une masse de poudre un peu considérable, n'est pas uniforme: elle s'accroît comme les cubes des instants écoulés à partir de celui où le feu a été mis au centre de la masse, et aussi comme les cubes des espaces parcourus. On conçoit, d'après cela, que la vitesse de l'inflammation soit petite quand il y a peu de poudre, qu'elle augmente considérablement quand la quantité de poudre augmente un peu, et que cette vitesse devienne croissante dans une proportion effrayante; dans un magasin à poudre, par exemple.

Nous terminerons, en donnant quelques renseignements sur la fabrication de la poudre.

Fabrication de la poudre.

La poudre, comme nous l'avons vu, est un mélange homogène de salpêtre, de soufre et de charbon. Les opérations consistent : 1° à rendre le mélange homogène; 2° à en former une pâte; 3° à le grener; 4° à en lisser les grains.

On opère ordinairement sur 10 kilogrammes (20 livres) de matière : 7 kilogrammes 50 (15 livres) de salpêtre, 1 kilogramme 25 (2 livres 4 onces) de soufre, et 1 kilogramme 25 (2 livres 4 onces) de charbon. Cette opération du *battage* se fait dans des mortiers en bois dur, à l'aide d'un pilon dont la tête est garnie d'une masse en bronze.

On dispose dix mortiers les uns à côté des autres, et une machine hydraulique sert à manœuvrer les pilons, dont le poids est d'environ 20 kilogrammes (40 livres) chaque. Le mélange des matières ne se fait pas à sec; on met d'abord le

charbon seul dans le mortier avec 1 kilogramme (2 livres) d'eau, et on broie pendant une demi-heure; après quoi on introduit le salpêtre et le soufre préalablement tamisés, et 50 décagrammes (1 livre) d'eau. Le jeu des pilons recommence, et dure environ de 12 à 14 heures. Pour que le mélange soit plus intime, on change la poudre de mortier, d'heure en heure, en ajoutant une petite quantité d'eau; la pâte devient alors très-consistante, et porte le nom de gâteau, qu'on porte dans l'atelier de grenage. Après 48 heures de repos, la poudre, qui a perdu un peu de son humidité, est placée dans un *grenoir*, dont les trous ont le diamètre qu'on veut donner à la poudre. La poussière et les grains trop gros sont de nouveau convertis en gâteau. On procède ensuite au séchage : cette opération se fait en étendant la poudre sur des toiles qu'on expose dans une chambre où arrive de l'air sec à 50 degrés.

La poudre de chasse demande une opération de plus, qui est le lissage. On place 150 kilogrammes (300 livres) de poudre dans des tonneaux qui reçoivent un mouvement horizontal très-lent, dans le sens de leur axe. Au bout de huit à dix heures, la poudre a pris un aspect plombagineux, et se réduit plus difficilement en poussière, par suite des aspérités qui ont disparu, et dont chaque grain est hérissé au sortir du grenoir.

CHAPITRE IV.

SECTION PREMIÈRE.

EXPLOITATION DES COMBUSTIBLES FOSSILES.

EXPLOITATION DE LA HOUILLE.

Les couches de houille sont généralement coupées de fissures perpendiculaires au toit et au mur, et par des plans de séparation parallèles entre eux; aussi peuvent-elles se diviser en rhomboèdres ou en cubes. Les couches de houille s'étendent sur une très-grande longueur, en conservant une puissance uniforme; d'autres fois, il y a amincissement et étranglement. L'inclinaison, qui, dans un cas, peut être horizontale ou légèrement abaissée à l'horizon, peut changer brusquement et se redresser jusqu'à la verticale. En tous cas, les systèmes d'exploitation employés pour ces différences d'allure peuvent se ré-

duire à trois genres d'ouvrages : 1° *ouvrage par grande taille;* 2° *par massifs;* 3° *par gradins.*

Ouvrage par grande taille. — On abat la couche sur toute son épaisseur et sur un front d'une grande longueur. Ce front de taille est ordinairement disposé parallèlement à la direction ou à l'inclinaison, ou bien suivant une ligne moyenne entre la direction et l'inclinaison.

Pour les couches peu inclinées, la première disposition est généralement employée; mais, quand la houille forme des veines qui plongent de 15 à 20 degrés, on dispose l'ouvrage des tailles parallèlement à l'inclinaison, ou sur une ligne moyenne d'inclinaison et de direction de la couche.

Le travail consiste à ouvrir sur toute la largeur du front une entaille plus ou moins profonde, suivant la solidité de la houille, et qu'on appelle *havage*. A chaque extrémité de ce havage on pratique deux nouvelles entailles perpendiculaires à la première, et qui ont la même profondeur; on procède ensuite à l'abattage, qui se fait soit à l'aide de coins, ou avec la poudre.

Quand la couche est peu épaisse, on pratique généralement l'entaille au mur; alors la masse de houille, pendant l'abattage, est sollicitée par son propre poids. Quand les veines sont séparées par des lits de schistes, on profite de cette circonstance pour faire le havage dans ces bancs, qui, ordinairement, sont moins durs à entamer que la houille elle-même.

A mesure qu'on avance, le toit est soutenu par un boisage, et les déblais provenant de la couche sont derrière les ouvriers. La figure 9 (*Pl.* XXVI) représente une exploitation par grande taille, connue, en Angleterre, sous le nom de *broadway* (voie large).

Ouvrage par massifs. — Il se divise : 1° en *ouvrage par massifs longs;* 2° *par massifs courts;* 3° *par massifs droits.*

L'ouvrage par massifs ou piliers longs consiste à laisser subsister entre les tailles des piliers plus ou moins grands, et destinés à soutenir le toit des couches. Ces piliers sont enlevés par la suite, quelquefois ils sont abandonnés. Si la couche est peu inclinée, on pousse les tailles en montant ou en descendant, et, dans le cas d'une forte inclinaison, on les dirige horizontalement suivant la direction. On peut aussi faire l'abattage en montant; alors il faut diriger les tailles suivant une ligne intermédiaire entre la direction et l'inclinaison. On

abat la houille comme dans la méthode par grandes tailles, mais on conçoit qu'on obtient le charbon en fragments plus petits.

Dans l'ouvrage par massifs ou piliers courts, il y a plusieurs cas distincts : 1° on perce des tailles parallèles entre elles et également espacées, à partir d'une voie horizontale; on recoupe ensuite les massifs. C'est cette disposition qu'on suit à Newcastle, en Angleterre, et que nous avons représentée *Pl.* XXVI, *fig.* 8. 2° On pratique, à partir d'une galerie dirigée suivant l'inclinaison de la couche, des tailles préparatoires poussées suivant la direction; ces tailles sont séparées par des piliers; on exploite ensuite chacun des massifs par des tailles dirigées suivant une ligne d'inclinaison. 3° Quelquefois on dispose les piliers en sorte d'échiquier qui supportent le toit de la couche. Plusieurs couches peu inclinées, dans le midi de la France, sont exploitées de cette manière.

L'ouvrage par massifs droits s'emploie pour les couches de houille très-puissantes et fortement inclinées. On rejoint la couche par une galerie à travers bancs, et en suivant le toit et le mur; on pousse une galerie d'allongement qui sert au roulage; on découpe ensuite la masse en piliers qu'on exploite après avoir remblayé les galeries contiguës, qu'on appelle *recoupes*. Quand une tranche a été ainsi exploitée et remblayée, on monte immédiatement sur les remblais, et on exploite une tranchée supérieure de la même manière. Quand le massif est intact, on fait, à partir du puits, plusieurs galeries qui divisent la masse de charbon en plusieurs étages, et on ne ménage, après l'enlèvement complet de la houille, qu'une galerie à chaque niveau, celle du toit ou du mur, pour porter l'aérage dans les régions supérieures; ces galeries communiquent entre elles au moyen de petits puits ou *cheminées*. Ce système d'exploitation est principalement suivi dans les houillères du Creusot et de Montchanin, dans le département de Saône-et-Loire, et à Decazeville, dans l'Aveyron.

Ouvrage par gradins. — C'est la méthode par grande taille, si ce n'est que les fronts sont divisés en plusieurs parties, en retraite les uns des autres. On pratique soit des gradins droits, ou renversés. Le premier cas a lieu lorsque l'inclinaison de la couche est forte; alors les gradins sont dirigés perpendiculairement à la direction. Quand l'inclinaison est peu considérable, on procède par gradins renversés, et le front est di-

rigé parallèlement à l'inclinaison, ou à une ligne moyenne entre la direction et l'inclinaison.

SECTION II.

DESCRIPTION DE DIFFÉRENTS BASSINS HOUILLERS.

Bassins houillers du midi de la France. — On ne compte que trois bassins houillers qui aient quelque importance : 1° bassin de l'Aveyron; 2° bassin de Carmeaux, dans le département du Tarn; 3° bassin d'Alais, dans le département du Gard.

Bassin de l'Aveyron. — La houille y est très-abondante, son prix de revient est de 3 et 4 francs la tonne. La houille exploitée n'y est pas de très-bonne qualité, elle contient beaucoup de pyrites de fer. Ces houillères sont sujettes aux feux. On trouve dans le terrain carbonifère beaucoup de minerais de fer carbonaté, qui alimentent les usines de Decazeville. — Les qualités de ce fer sont médiocres, et ne conviennent guère que pour la fabrication des rails. Les produits de l'usine se transportent par le Lot et la Garonne, et la première de ces rivières est très-difficile; en somme, ce bassin est peu favorisé sous le rapport des voies de communication. — Le bassin de l'Aveyron comprend onze concessions, dont la surface est représentée par 3,000 hectares, et le chiffre annuel d'extraction s'élève à 950,000 quintaux métriques. — La *fig.* 14, *Pl.* XXVI, représente la coupe du terrain houiller de Decazeville.

Bassin de Carmeaux. — Ce bassin est moins important que l'autre, mais la houille y est abondante. — Le prix de revient de l'hectolitre est d'environ 0 fr. 65 cent., dont 40 cent. pour l'extraction proprement dite. — On calcule que les prix moyens de vente sont de 1 fr. 65 cent. — L'extraction peut s'élever au chiffre de 250,000 hect. par année. — Ces houilles ne peuvent soutenir, à Bordeaux, la concurrence des charbons du nord, qui s'y vendent 2 fr. 70 cent., tandis que la houille de Carmeaux y revient au moins à 4 fr. — La houille, dans le bassin de Carmeaux, se rencontre dans l'argile schisteuse et forme des couches de 1 mètre 62 cent. à 2 mètres 60 c. de puissance, assez régulières quant aux renflements et aux rétrécissements, mais sujettes à beaucoup de brouillages. — Cinq couches sont exploitées avantageusement. — Dans leur ensemble, les veines présentent un grand fond de bateau, inclinant au nord. — Elles se relèvent dans cette direction avec une pente assez faible, mais, à l'ouest, l'inclinaison augmente rapidement à l'approche des roches primitives sur lesquelles elles s'appuient. —

Le terrain houiller, jusqu'à ce jour, n'a été reconnu que jusqu'à une profondeur de 300 mètres, au moyen de puits et sondages.

Bassin d'Alais. — Le terrain houiller d'Alais repose sur une base d'origine ancienne; au nord, il s'appuie sur les gneiss et les schistes micacés, et, après être resté à découvert sur une grande étendue, il disparaît au sud et à l'est, sous des calcaires de formation jurassique. Le sol houiller est continu sur une superficie de 250 kilomètres carrés. — La puissance ordinaire des couches est de 1 à 3 mètres; une seule, très-étendue, atteint jusqu'à 10 mètres de puissance. Leur inclinaison la plus ordinaire est de 4 à 10 degrés. — Les couches reconnues à la houillère de la Grand'-Combe, dépassent le chiffre de 35. Sainte-barbe, 1 mètre 30 centimètres de puissance, donne un coke de bonne qualité; le Bosquet, 3 mètres; le Plomb, 1 mètre 40 centimètres; le Portail, 2 mètres 50 centimètres; la Minette, 50 centimètres; la Baraque, 1 mètre; le Velours, 2 mètres; la Cantalade, 90 centimètres; l'Airolle, 1 mètre 30 centimètres; le Pin, 1 mètre. Couche inférieure, 1 mètre; couche supérieure, 80 centimètres; grande couche, 3 mètres 30 centimètres. Minette (Abylon), 1 mètre 10 centimètres; la grande Beaume, 10 mètres, houille grasse et très-pure; Minette (Trescol), 50 centimètres; les cinq Pans, 1 mètre 25 centimètres; les trois Mâchoires, 1 mètre; le Valat ou la Tronche, 1 mètre 50 cent.; la Grande-Veine ou la Levade, 4 mètres; couche supérieure (Champ-Clauzon), 1 mètre 50 centim.; deuxième couche, 80 centim.; troisième couche, 1 mètre. Minette, 80 centim.; grande couche, 4 mètres 50 cent.; Minette inférieure (St-Jean-de-Valérisde), 1 mètre 20 centim.; couche supérieure, 1 mètre 50 centim.; deuxième couche, 1 mètre 20 centim.; troisième couche, 1 mètre 50 centim.; quatrième couche, 1 mètre. La Remise, 1 mètre 80 centim.; le Puits, 1 mètre 30 centim., etc.....

Lors de notre visite aux mines de la Grand'-Combe, on extrayait moyennement par jour 700 tonnes de houille, dont 200 étaient converties en coke. Les 2/3 de ce coke se vendent à l'usine d'Alais, et l'autre tiers est expédié sur Marseille, ainsi que les charbons, au moyen d'un chemin de fer qui va jusqu'à Beaucaire. Ce chemin a 88 kilomètres et a coûté 14,268,547 fr.; en comprenant le matériel, ce chiffre s'élève à 16 millions. Si l'on ajoute à cela 6 autres millions pour l'exploitation, immeubles, frais d'établissement, etc., on voit que

la houillère de la Grand'-Combe marche avec un capital d'environ 20 millions, dont l'intérêt de un million, à 5 p. 0/0, est aujourd'hui difficilement réalisable.

Le système d'exploitation de la Grand'-Combe n'est pas adopté définitivement pour toutes les couches; néanmoins, dans les veines dont la puissance ne dépasse pas 4 mètres, on découpe toute la masse en piliers de 12 à 15 mètres de côté, puis on bat en retraite en dépilant. L'abattage se fait sur un front de taille de 3 mètres environ de largeur. Les mineurs pratiquent deux entailles verticales, puis divisent la hauteur par un harage de 50 centim. environ de profondeur, et, au moyen de coins et même de poudre, on détache le massif.

Aujourd'hui, toutes les couches sont exploitées au moyen de galeries horizontales, qui viennent déboucher au jour au niveau du sol; mais comme les couches ont un pendage inverse de celui qu'elles devraient avoir pour faciliter le roulage, il s'ensuit qu'à mesure qu'on s'approfondit suivant l'inclinaison, le transport du charbon devient de plus en plus coûteux; aussi, à une époque, à coup sûr très-rapprochée, sera-t-on obligé de foncer des puits pour rejoindre les couches en profondeur et faire l'extraction au moyen de machines. Le prix de l'abattage se paie moyennement 2 fr. 60 cent. la tonne pour le gros, et 1 fr. 60 cent. pour le menu. — Un mineur peu abattre, par poste de dix heures, environ 2 tonnes et demie. — Au reste, les prix, à la Grand'-Combe, sont encore élevés. — On comptait, en 1841, une extraction de 187,163 tonnes, ou 2,300,000 hectolitres, ainsi répartis : vente au commerce, 83,240 tonnes ; à l'usine d'Alais, 52,024 tonnes ; restait à l'entrepôt, 44,000 tonnes. Le bénéfice était de de 415,572 francs.

Bassins houillers du centre de la France.

Bassins de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier. — Ces bassins sont les plus importants de toute la France. — Le sol houiller est contenu de toutes parts dans un bassin d'origine primitive, qui s'étend du sud-ouest au nord-est, entre la Loire et le Rhône. Le bassin est fortement renflé, vers l'ouest, sur le versant de la Loire, et sa plus grande largeur, prise dans la méridienne de Roche-la-Molière, est de 13,000 mètres; mais ses bords se rapprochent sensiblement vers Saint-Chamond, et courent ensuite des deux côtés de la rivière du Gier, et parallèlement à son cours, jusque vers les limites est du département de la Loire, sur le versant du Rhône. — A Rive-de-Gier,

la formation houillère n'a pas plus de 2,300 mètres de largeur. La puissance des couches de houille est très-variable : à Saint-Etienne, elles atteignent de 1 à 5 mètres ; mais à Rive-de-Gier, elles éprouvent des renflements qui portent la puissance jusqu'à 15 et 20 mètres.

Le bassin de la Loire comprend actuellement 59 concessions, qui fournissent une extraction de 11,150,000 quintaux métriques. La surface concédée est d'environ 22,714 hectares. — Les prix d'abattage, à Saint-Etienne, sont de 40 à 50 centimes, tandis qu'à Rive-de-Gier, ils dépassent souvent 80 centimes. Cette grande différence tient à la profondeur des puits et principalement aux frais de boisage et d'épuisement, et de la plus grande dureté des charbons de Rive-de-Gier. — Les prix de vente sont les suivants : on distingue le *pérat*, le *grèle* et le *menu*. — A Saint-Etienne, sur place, ces charbons se vendent de 1 fr. 40 c. à 1 fr. 70 cent. les pérats ; de 1 fr. 35 cent. à 1 fr. 45 cent. pour les grêles, et de 50 cent. à 55 cent. l'hectolitre de menu. A Rive-de-Gier, pour les mêmes désignations de charbon, les prix sont de 2 fr. 15 cent., 1 fr. 90 cent., et 45 cent. — Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur ce bassin, son importance l'a depuis longtemps fait connaître, aussi, renverrons-nous aux nombreux mémoires qui ont été écrits sur les houillères de la Loire.

Bassin de Brassac. — C'est le plus important de l'Auvergne. Ce bassin a la forme d'un triangle, dont le sommet serait au point où l'Allagnon se jette dans l'Allier, et dont les côtés seraient formés par le cours de ces deux rivières ; la base de ce triangle reste encore vague à cause du terrain tertiaire qui recouvre le terrain houiller, dans la direction de Brioude. — On compte huit concessions, toutes riches en charbon, ce sont : dans le département du Puy-de-Dôme, *La Combelle* et *Charbonnier* ; dans les départements du Puy-de-Dôme et de la Haute-Loire à la fois, *Armois*, *Fondary* et *Grosmesnil* ; dans le département de la Haute-Loire, *Mégecoste*, *Les Barthes* et *La Taupe*. — L'étendue des terrains concédés comprend à peu près 4,700 hectares.

L'extraction, en 1843, a été de 693,630 hectolitres ainsi répartis : La Taupe, 236,900 hectolitres ; Grosmesnil, 117,166 hectolitres ; La Combelle, 135,564 hectolitres ; Les Barthes ; 134,000 hectolitres ; Charbonnier, 70,000 hectolitres. — La concession de Mégecoste n'a pas tiré de charbon depuis 3 années, mais on compte, en 1845, y faire une ex-

traction. — En 1840 on a extrait 97,000 hectolitres, et à Fondary 50,000 hectolitres. Cette mine n'est pas exploitée aujourd'hui. — La concession d'Armois n'a jamais été en exploitation.

Le prix moyen de l'hectolitre varie de 50 à 60 centimes. — Dans les circonstances favorables à une bonne exploitation, on peut répartir le prix de revient de la manière suivante, par quintal métrique de 85 kilogrammes l'hectolitre.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

Les prix moyens de vente sont de 10 à 16 fr. la voie de 20 hectolitres. La mine de Charbonnier, plus éloignée de l'Allier, paie 5 francs de transport, ce qui fait revenir la voie à 18 francs.

Bassin de Commentry. Il comprend plusieurs concessions; mais la houillère de Commentry, proprement dite, à 16 kilomètres de Montluçon, est celle qui est appelée à un avenir durable. Commentry extrait environ un million d'hectolitres, quoiqu'il soit en mesure d'extraire aujourd'hui plus du double. — L'exploitation, jusqu'à présent, a eu lieu à ciel ouvert, et le prix de l'abattage et du roulage ne dépasse pas 10 centimes. — Les feux qui se déclarent sans cesse dans des massifs anciennement exploités, ont obligé de foncer des puits en aval-pendage des couches. Ces puits sont peu profonds; ils rejoignent les couches à 25 ou 30 mètres au plus. D'un côté, l'ensemble des travaux de la houillère de Commentry, à peine terminés, mais partout esquissés avec une grande intelligence; de l'autre, la houille commode à exploiter et si abondante, des voies de communication faciles, feront certainement de Commentry un des plus beaux et des plus riches bassins houillers qu'on connaisse.

Le charbon n'est pas de première qualité pour le coke. Au sortir des fours, il est en masses baccillaires, ce qui le rend très-friable; mais il est employé, à ce qu'il paraît, avec avantage à Montluçon pour le service de deux hauts-fourneaux. — Le coke est fabriqué à l'usine. — Il se construit maintenant, à Commentry même, deux hauts-fourneaux et une forge, et la houillère de Commentry pourra fournir à cette usine 6 à 700,000 hectolitres de charbon.

Le chemin de fer de la mine à Montluçon n'est pas encore terminé. Ce chemin apportera une grande économie, si l'on

	LA COMBELLE	GROS-MESNIL.	LA TAUPE.	LES BARTHES.	CHAR-BONNIER.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Piochage et outils.	0.112	0.111	0.112	0.120	0.064
Boisage.	0.215	0.140	0.157	0.137	0.208
Portage et roulage.	0.100	0.090	0.120	0.097	0.145
Roulage à l'extérieur et triage de roches.	0.045	0.021	0.027	0.032	0.030
Eclairage.	0.045	0.042	0.035	0.030	0.027
Cables et cordes.	0.031	0.031	0.013	0.024	0.021
Mécaniciens, machinistes.	0.072	0.055	0.028	0.051	0.018
Chevaux et entretien.	0.007	0.051	0.007	0.030	0.040
Consommation des machines.	0.072	0.060	0.040	0.033	0.025
Surveillance.	0.018	0.030	0.021	0 005	0.037
Frais généraux.	0.072	0.120	0.065	0.070	0.005
Travaux de recherches.	0,061	?	0.035	0 051	»
Epuisement.	»	0.040	»	»	»
Total.	0.850	0 811	0.660	0.680	0.640

songe que l'on paie actuellement pour plus de 350,000 francs de transport par voiture, par an.

On compte encore, dans ce bassin, la concession de *Bessenet*, de *Doyet* et du *Marais*. *Bessenet* fait face à une vente journalière de 3 à 400 hectolitres (au moins, c'était ce chiffre lors de notre visite en avril 1844). Les charbons sont moins purs qu'à Commentry. — L'exploitation se fait aussi à ciel ouvert. — La distance de la mine à Montluçon est de 24 kilomètres, et un embranchement avec le chemin de fer ne paraît pas très-facile à exécuter sans de grandes dépenses.

Doyet, à 20 kilomètres de Montluçon, est à peu près dans les mêmes conditions que Bessenet.

La concession du Marais, à 13 kilomètres de Montluçon, fournit principalement un charbon anthraciteux. — La mine peut facilement s'embrancher sur le chemin de fer de Commentry. — Les charbons de toutes ces concessions sont éminemment propres à l'éclairage; aussi, ceux de Commentry, qui contiennent jusqu'à 30 p. 100 d'hydrogène, sont-ils favorablement accueillis sur la place de Paris.

En résumé, de toutes les mines de ce bassin, Commentry est la seule qui soit appelée à réaliser d'importants bénéfices, et les concessions voisines ne doivent pas être pour elle de redoutables concurrences.

Bassin de Saône-et-Loire. — Depuis douze années, l'industrie des houilles, dans le département de Saône-et-Loire, a pris un accroissement très-considérable, par suite du grand développement apporté aux exploitations déjà existantes, et à la création de nouveaux centres d'extraction; ainsi, le produit net qui, en 1830, atteignait à peine le chiffre de 900,000 quintaux métriques, dépasse aujourd'hui celui de 2,000,000 de quintaux métriques. Les deux tiers de ces produits sont livrés au commerce, et l'autre tiers est consommé dans l'usine à fer du Creusot, l'une des plus importantes de la France.

Le bassin houiller de Saône-et-Loire comprend douze centres d'exploitation qui, d'après l'importance de leur production, peuvent être classés de la manière suivante :

		hectolitres.
Blanzy, extraction annuelle.	. . . .	1,000,000
Le Creusot,	*id.*	850,000
Epinac,	*id.*	800,000
Montchanin,	*id.*	400,000

Theurée-Maillot (arrêté en 1842, fait partie de la concession de Blanzy)	150,000
Long-Pendu (arrêté).	200,000
Saint-Berain et Saint-Léger (arrêté). . .	
Saint Eugène.	
La Chapelle.	
Grand-Moloy.	
Grand-Champ (exploitation arrêtée en 1843).	
Sully.	
Total	2.400,000

Le bassin houiller de Saône-et-Loire présente la forme d'un ellipsoïde irrégulier, dont le grand axe est d'environ 60,000 mètres, et le petit axe de 15,000 mètres. Jusqu'à ce jour, les exploitations se sont concentrées sur les bords du bassin, là où les affleurements étaient en tout point visibles. La partie centrale est recouverte par des grès et des conglomérats bigarrés qu'on rapporte à l'époque triasique. Aucune recherche n'a encore été faite bien avant vers ce centre, mais il est probable que les couches de houille, si elles s'y rencontrent, sont situées à une très-grande profondeur. En coupant le bassin de Saône-et-Loire par deux plans perpendiculaires entre eux, suivant les deux axes du bassin, on trouve qu'il représente assez bien la forme dite *en fond de bateau*. M. Burat, dans un mémoire qu'il a publié en 1841, sur la constitution des roches du bassin de Saône-et-Loire, n'admet pas la continuité souterraine des couches des lisières nord-sud et est-ouest. Il considère chaque centre d'exploitation comme un bassin isolé et tout-à-fait indépendant, idée qui ne lui fait pas rejeter la possibilité de rencontrer de nouvelles couches vers les parties centrales; mais, selon lui, ce seraient encore de petits bassins subordonnés au développement des roches houillères de toute la formation. Sans entrer ici dans une discussion qui nous entraînerait beaucoup trop loin, rappelons seulement que, dans plusieurs exploitations, on a constaté la continuité des couches houillères sur le terrain rouge superposé, sans qu'elles subissent la moindre altération d'allure. Pourquoi leur refuser moins de régularité à des distances plus considérables? Les dimensions du bassin de Saône-et Loire sont-elles donc si grandes pour que l'imagination s'arrête devant la possibilité de voir les couches des lisières opposées se réunir à de grandes distances

et à de grandes profondeurs? Certes, il y aurait beaucoup de chances d'erreur à soutenir que cette continuité offre partout une parfaite régularité; mais qu'on jette un coup d'œil sur les exploitations environnantes, on se convaincra que les couches offrent un ensemble très-tourmenté, soit par des failles, soit par des renflements ou des rétrécissements; il est donc naturel alors de supposer que le tout est en rapport direct avec les fractions qui le composent, et que ce qui s'est passé sur toute l'étendue souterraine de la formation, en général, a dû se reproduire sur chaque gîte en particulier.

Concession de Blanzy. — Elle comprend trois centres d'exploitation : 1° Lucy, 2° le Montceau, 3° Blanzy ou les communautés. — Le terrain houiller est limité, au sud, par les roches granitiques qui suivent à peu près la ligne du canal du Centre; au nord, les couches plongent sous les terrains de grès bigarrés.

La masse de combustible est très-variable dans son allure; elle est sujette à de nombreux rétrécissements et renflements. En plan, la puissance houillère forme une suite de noyaux très-allongés, dont la direction générale est est-ouest. L'épaisseur des couches varie de 5 à 20 mètres, et sont interrompues par une suite de failles qui rejettent les couches à quelques mètres plus bas, de sorte que si, au Montceau, on coupe la masse suivant une ligne à peu près parallèle à la direction de son inclinaison, on aura la figure que nous avons présentée fig. 1, *Pl.* XXVI. — Les fig. 2 et 3, *Pl.* XXVI, donnent la coupe longitudinale et transversale des couches de l'exploitation de Lucy.

Sur un grand nombre de puits qui ont été foncés au Montceau, il n'en est pas un qui n'ait atteint la couche. Tous les puits du bassin de Blanzy sont situés sur une ligne à peu près parallèle et qui s'étend de l'est à l'ouest; la largeur de cette ligne d'exploitation ne dépasse pas 300 mètres, tandis que la largeur du terrain houiller, au midi, est immense, et quoique recouvert de grès rouge d'une nouvelle formation, ne donne pas moins à espérer l'existence d'un dépôt minéral enfoui probablement à une très-grande profondeur dans le sein de la terre. Aussi, l'existence industrielle du Montceau est marquée dans plusieurs siècles à venir : son importance commerciale grandira avec les besoins de l'industrie, sans que ses houillères puissent de longtemps redouter l'appauvrissement de ses produits.

Bassin du Creusot. — Les exploitations de houille du Creusot reposent dans une petite vallée qui se dirige sensiblement de l'est à l'ouest. Le grand axe, dans sa plus grande longueur, n'a pas plus de 1,500 mètres, et le petit axe, mesuré à l'extrémité est, atteint à peine une largeur de 400 mètres.

Cette vallée, entièrement composée de roches contemporaines de la formation houillère (en ne s'en tenant qu'à la vallée proprement dite), fait partie de ce même terrain qui se montre au nord du bassin houiller de Saône-et-Loire, sur une longueur d'environ 5,000 mètres et une largeur de 900 mètres au plus. Cette formation est dirigée E., 15° N., O., 15° S., s'appuie sur les granits, gneiss, porphyres, et va disparaître au sud en stratification discordante sous les grès de l'étage triasique. Les puits sont échelonnés sur le versant oriental d'une montagne composée de roches de transitions, sur laquelle les tranches du terrain houiller viennent plonger presque verticalement. Les affleurements des couches de houille, ainsi que ceux des schistes et psammites qui les accompagnent, se profilent sur les contours de cette formation : très-visibles à l'ouest, sur les parties de la montagne laissées à nu, ils viennent se perdre sous les atterrissements et les parties boisées qui s'étendent à l'est, au bas de la vallée.

L'exploitation a lieu sur trois couches parfaitement distinctes, mais de qualité variable, qui n'apparaissent pas régulièrement sur toute l'étendue de la direction. Considéré dans son ensemble, mais particulièrement à partir du milieu du bassin jusqu'à son extrémité est, tout le système plonge, au nord, sous un angle de 70 à 80 degrés; mais, à la profondeur de 80 à 100 mètres, les couches se dressent, se contournent et se brisent : elles affectent alors un pendage au midi, en passant d'une manière insensible de 0 à 45 degrés, inclinaison qu'elles conservent régulièrement jusqu'à d'assez grandes profondeurs ; mais à mesure que les couches s'enfoncent davantage, on remarque que cette pente diminue graduellement, jusqu'à ce qu'enfin elle devienne presque nulle. L'état actuel des travaux de la mine du Creusot ne permet pas encore de juger de la position relative des couches au niveau de 235 mètres; cependant, il paraît probable que dans les régions voisines de cette limite, elles deviennent horizontales, se resserrent et finissent par se perdre complètement.

Si l'on se reporte à l'ouest du bassin, dans le haut de la vallée, et qu'on détermine une coupe passant par une ligne

nord-sud, on ne distingue que deux couches, dont l'inférieure, de puissance très-faible, donne un charbon très-maigre, et la grande couche elle-même se dépouille insensiblement de la qualité bitumineuse à mesure que l'on avance vers le sud; et, sur une longueur à peine de 350 mètres, après s'être repliée trois fois sur elle-même, en affectant la forme de Z renversé, cette couche vient reparaître avec un pendage de 15 à 20 degrés, tout-à-fait à la limite sud du bassin, où, là, elle constitue un véritable dépôt anthraciteux.

L'exploitation de la houille a lieu par la méthode des piliers et remblais; elle consiste à rejoindre la couche par une galerie à travers bancs, et de pousser, suivant le toit ou le mur, une galerie principale qui sert au roulage; on découpe ensuite toute la masse de charbon en échiquier, au moyen de galeries perpendiculaires à la direction, après quoi on remblaie tous les vides, ce qui permet de prendre tout le charbon; on monte ensuite sur les remblais et on ouvre un nouvel étage. Le charbon, d'ordinaire, est versé dans de petits bures qui correspondent à l'ancienne galerie de roulage qu'on n'a pas remblayée et qui sert aussi d'aérage. Quand les travaux le permettent, on prend différents étages à plusieurs niveaux qui communiquent au puits principal d'extraction. Le prix de revient de l'hectolitre du charbon est très-variable, surtout si on feuillette les registres de ces dernières années; il est en outre très-élevé, à cause des travaux neufs que le manque de combustible a forcé d'ouvrir. Le tableau suivant peut donner une idée des prix pendant ces quatre dernières années.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

D'après l'inspection de ce tableau, on voit que ce qui grève fortement le chiffre de l'hectolitre, est l'article des travaux neufs; mais, en général, dans un puits où les remblais et l'extraction se suivent régulièrement, sans dépenses de travaux extraordinaires, on peut porter le prix de l'hectolitre de 50 à 60 centimes.

Houillère de Montchanin. — Elle est située à 28 kilomètres du Creusot; son exploitation repose sur une grande masse de combustible, de 45° d'inclinaison, qui se dirige du nord-est au sud-ouest. Elle se termine à l'est par un étranglement incomplet, et vers l'ouest sa limite n'est pas bien connue. — La puissance de cette masse atteint jusqu'à 80 mètres; mais à mesure

Prix de revient des charbons de la houillère du Creusot, pendant le trimestre mai, juin, juillet de 1842.

	PUITS de l'Ouche.	PUITS des Nouillots.	PUITS du Sud.	PUITS Chaptal.	PUITS 10.	PUITS Robert.	Exploitation à ciel ouvert.	Moyenne des sommes réunies.
	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	hectol.	
Extraction.	45.327	25.988	6.488	42.226	20.612	34.030	6.349	
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	
Dépenses.	27785.75	18924.25	5525.40	31896.40	16959.32	19084.97	1332.79	
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Abattage.	0.0546	0.1252	0.1032	0.0861	0.0742	0.0610	0.1200	0.074
Roulage.	0.0945	0.0771	0.0605	0.0683	0.0767	0.0596	»	0.075
Boisage.	0.0746	0.0959	0.0929	0.0917	0.0968	0.0519	»	0.072
Remblais.	0.0079	0.0354	»	0.0807	0.0207	0.0651	»	0.032
Elévation au jour.	0.0544	0.0617	0.1159	0.0832	0.0758	0.0509	»	0.060
Travaux divers.	0.0433	0.0508	0.1385	0.0645	0.1608	0.0082	»	0.058
Eclairage.	0.0197	0.0163	0.0458	0.0144	0.0353	»	»	0.015
Frais généraux d'exploitation	0.0390	0.0455	0.0465	0.0599	0.0556	0.0599	0.0178	0.040
Travaux neufs.	0.1181	0.1155	0.1148	0.1186	0.1196	0.1177	»	0.135
Epuisement.	0.0352	0.0355	0.0331	0.0555	0.0361	0.0350	»	0.037
Frais généraux d'usine.	0.0718	0.0715	0.0694	0.0722	0.0729	0.0714	0.0721	0.077
Total.	0.6129	0.7280	0.8202	0.7551	0.8225	0.5607	0.2099	0.675

que l'on descend, cette puissance diminue sensiblement de manière à se réduire presqu'à zéro à la profondeur de 115 mètres. Un petit bure de recherche, commencé à l'étage de 78m,10, a atteint la profoudeur de 33 mètres, toujours dans le charbon; mais des traverses perpendiculaires à cette descenderie ont constaté la diminution de puissance à mesure qu'on approchait du fond. On reconnaît encore deux autres couches d'une puissance de 2m,50 à 3 mètres; qui sont situées au mur de la grande masse. — En général, dans une coupe horizontale, le toit et le mur sont marqués par des lignes présentant des brisures brusques. — La roche environnante est un grès schisteux, assez dur au moment où on l'entame, mais qui ne tarde pas à se déliter par l'action de l'air. La veine est souvent barrée par des feuilles de grès et de schiste, tantôt elle est pure et présente peu de pyrites. Le schiste interposé, et même celui du toit et du mur, surtout quand il contient du sulfure de fer, présente à un haut degré la propriété de s'enflammer spontanément. On évite d'en faire des remblais pour cette raison. — Cette propriété fâcheuse des roches encaissantes semble s'être communiquée à la houille elle-même, car il est impossible de conserver à l'air des tas considérables de charbon, sans qu'on encoure le risque de tout perdre par le feu, qui se propage avec rapidité. — Le système d'exploitation suivi à Montchanin est le même que celui du Creusot; le prix de revient de l'hectolitre de charbon est plus faible que dans cette localité.

Voici un prix minimum :

	francs.	
Abattage.	0.08195	0f.39328
Transport intérieur. . . .	0.04847	
Boisage.	0.06583	
Remblais.	0.05898	
Elévation au jour. . . .	0.02523	
Travaux divers.	0.03801	
Frais généraux d'exploitation.	0.02612	
Frais d'entretien.	0.02302	
Frais généraux.	0.02567	

L'extraction de la houillère de Montchanin peut s'élever annuellement au chiffre de 450,000 hectolitres. Les produits sont conduits au canal du Centre, par un chemin de fer

de 2 kilomètres, qui s'embranche avec celui du Creusot. Ce transport coûte 2 centimes 1/3 par hectolitre. — Pris sur le carreau de la mine à 0 fr. 65 à 70 l'hectolitre, le charbon se vend à Paris 2 fr., ou 30 francs la voie de 15 hectolitres, et à Mulhouse, son principal débouché, à 2 fr. 50 les 100 kilogrammes.

Houillère d'Epinac. — Cette houillère est située à 2500 mètres à l'est du village d'Epinac, dans une vallée appelée les Curiers. Le terrain houiller repose au nord sur le porphyre et les grès bigarrés, et au sud sur le gneiss.

Les puits ont traversé deux couches séparées l'une de l'autre par un banc de grès de 21 mètres de puissance. La première couche a 2m,30, et la seconde 7 mètres en moyenne. Elle repose immédiatement sur le terrain houiller, lequel est souvent interrompu par des dycks porphyriques verts et blancs. — Vers le puits de *Fontaine-Bonnard*, du haut, et le puits des Curiers, les deux couches viennent se réunir en une seule.

Les produits de la houillère d'Epinac sont conduits jusqu'à Pont-d'Ouche, par un chemin de fer de sept lieues de long.

Le prix de revient de l'hectolitre de houille peut se détailler ainsi :

	francs.	
Abattage.	0.10155	0f. 50081
Roulage.	0.11409	
Boisage.	0.02445	
Travaux extraordinaires . .	0.00910	
Approvisionnement. . . .	0.04755	
Entretien des outils. . . .	0.04090	
Montée au jour.	0.07585	
Frais généraux.	0.08942	

Houillère de la Theurée-Maillot. Les couches de houille exploitées à la Theurée-Maillot paraissent devoir se rattacher au terrain houiller de Blanzy, en général, et à la couche de Lucy, en particulier. Les veines se dirigent de l'est à l'ouest, se contournent ensuite vers le sud ; leur inclinaison est de 15 à 20 degrés. De même qu'à Blanzy, le terrain houiller est limité au nord par les grès bigarrés, et au sud par le granit.

On exploite trois couches qui sont bien parallèles entre elles ; leur allure est assez régulière. La puissance de 1m,40

peut être considérée comme un *maximum*, et sur plusieurs points de la concession, tels qu'aux *Porrots* et aux *Badeaux*, elle ne dépasse pas 80 à 90 centimètres. Ces couches sont séparées par des bancs de schiste et de grès qui alternent, et dont l'épaisseur est de 30 mètres entre la première et la deuxième, et de 40 mètres entre la deuxième et la troisième.

Le système d'exploitation, pour ces couches, consiste à pousser une galerie de direction de 15 à 20 mètres de largeur jusqu'à 80 à 100 mètres. On remblaie ensuite avec les débris du toit qu'on est obligé d'abattre, et on ne laisse subsister que la galerie de roulage où est posé un chemin de fer de $0^m,50$ de largeur, sur lequel roulent des petits charriots de la contenance de 5 hectolitres. Les essieux très-rapprochés de ces véhicules, 30 centimètres au plus, leur permettent de tourner des courbes très-rapides. L'abattage de ces charbons, qui sont généralement très-durs, se fait à la poudre.

Les charbons, au sortir de la mine, sont conduits sur le canal du Centre au moyen d'un chemin de fer de 2700 mètres de longueur. Le prix de revient des charbons, à la Theurée-Maillot, est d'environ 40 à 50 centimes. Cette concession a été achetée en 1842 par la société de Blanzy.

Nous avons représenté, *Pl.* XXVI, par les figures 4, 5, 6 et 7, des plans et coupes des bassins houillers de Valenciennes et de Mons. Ces exploitations font partie de la longue bande de terrain houiller qui s'étend sur la rive gauche du Rhin, et disposé, en général, suivant une ligne nord-est-sud-ouest. — On rencontre sur cette ligne, à l'est, les mines d'Eschweiler; entre Aix-la-Chapelle et Rolduc, les houillères de Rolduc; sur les rives de la Meuse, le vaste bassin de Liége, de 5 myriamètres et demi de longueur sur une largeur de 1 myriamètre.

Du côté de Charleroi, on rencontre d'autres dépôts. Au sud-est de Douai, se trouvent les mines d'Auberchicourt et d'Antche. Après une longue interruption de ce terrain houiller, mais toujours sur ce même prolongement, on exploite la houille à Litry, dans le département du Calvados. Au sud-est de cette bande, se rencontre le dépôt houiller de Sarrebrüch.

EXPLOITATION DE LA TOURBE.

Les bancs de tourbe reposent sur des bancs de sable ou d'argile.

La tourbe ne se forme pas dans tous les marais; il faut certaines circonstances essentielles à sa formation: 1° que l'eau ait peu de vitesse; 2° qu'elle n'ait pas une grande épaisseur; 3° qu'elle ne contienne pas de sels en dissolution; 4° que les marais ne soient pas susceptibles de se dessécher en été. La tourbe est plus abondante dans les pays du Nord que dans le Midi. Cela tient probablement à ce que l'évaporation est moins facile en été. On reconnaît la présence d'un banc de tourbe: 1° à l'aspect du marais; 2° à l'élasticité du terrain. Si l'on veut étudier le terrain, on se sert de la sonde du tourbier. Il convient de multiplier les sondages.

Méthodes d'exploitation.

1° Par tranchées, ou par galeries d'écoulement.
2° Par des puits perdus.
3° Par des machines.

Epuisement par tranchées.

On peut, au moyen d'une tranchée, faire couler les eaux de la vallée dans une autre vallée inférieure.

Epuisement par puits.

Pour dessécher le banc de tourbe, on fait un trou de sonde ou un puits dans le banc d'argile, et les eaux s'écoulent sur le calcaire fissuré.

Epuisement par machines.

On se sert de vis d'Archimède; en Hollande, on emploie des moulins à vent. Mais les machines, vu le prix peu élevé de la tourbe, sont très-coûteuses. Il est préférable alors d'exploiter la tourbe sous l'eau.

Pour extraire après le dessèchement, on commence toujours par la partie inférieure, afin que les eaux ne puissent pas gêner. On exploite le banc par tranches. On enlève d'abord la terre végétale et le bousin, avant d'arriver à la couche. Quand on est arrivé à la tourbe, on se sert d'un outil appelé *louchet*, qui débite la tourbe en petits prismes. Chacun de ces prismes porte le nom de *tourbe*. On se sert de cet outil soit horizontalement, soit verticalement. Lorsqu'on fait travailler deux ouvriers, on déblaie le terrain sur un espace de 3 mètres de côté. Quand on emploie plusieurs ouvriers, on les dispose par gradins.

Exploitation sans épuisement.

On commence par ouvrir dans la tourbe même un grand

canal; ce canal communique avec un cours d'eau ou une rivière navigable. On creuse d'autres canaux perpendiculaires aux premiers, et on divise ainsi la surface en massifs à exploiter. Il faut entailler ces canaux par petites portions, sans quoi le terrain pourrait remonter. On exploite ces massifs par tranches. Tant qu'on est au-dessus du niveau de l'eau, on se sert du petit, du grand louchet ou de la drague. Le grand louchet est un outil semblable au petit louchet; seulement l'aileron, au lieu d'être à angle obtus, est à angle droit.

En Hollande, on se sert de la drague: c'est un filet muni de dents. On gratte le terrain, et on ramasse la tourbe dans le filet.

Dessiccation de la tourbe.

Les mottes de tourbe ont 217 millimètres (8 pouces) de côté sur 108 millimètres (4 pouces) de haut. Pour les dessécher, il faut préparer une aire sur laquelle on étend du foin; on transporte la tourbe en cet endroit, dans des brouettes qui marchent sur des planches, afin de ne pas enfoncer dans le terrain. On forme ainsi des tas, appelés *pignons*. Ces tas se composent de 15 tourbes. Lorsque la dessiccation est presque achevée, on retourne les tourbes.

Pour conserver la tourbe, on la dispose en piles: ces piles ont la forme de tronc de pyramide quadrangulaire; les parois sont formées de tourbes rangées avec soin. Au-dessus de ce tronc, on construit un toit en paille. Il importe de n'empiler ni trop tôt ni trop tard: dans le premier cas, la tourbe fermenterait; trop tard, elle se réduirait en poussière. Quelquefois on dessèche la tourbe en mettant deux tourbes de champ.

Dans certains pays, on place la tourbe dans de grands magasins à claire-voie. En hiver, on en ferme les ouvertures.

Dessiccation de la tourbe en bouillie. — Hollande.

Toutes les tourbes ne se prêtent pas à l'exploitation à la drague; il faut, pour cela, que la tourbe contienne peu de matières étrangères, et qu'elle ait atteint un certain degré de décomposition. Quand on exploite ainsi, la mauvaise terre est jetée d'un côté, et la tourbe de l'autre; un ouvrier reçoit cette tourbe, et la place dans un baquet; il enlève toutes les pierres qui peuvent s'y trouver, soit avec un râteau ou avec une fourche; puis, après, on la retire du baquet et on l'étend sur le terrain. L'on forme ainsi des couches qui ont 35 centi-

mètres d'épaisseur. On aplatit la tourbe avec des battes en bois, ou en marchant dessus avec des sandales; on divise ensuite en mottes avec le louchet. On dessèche comme précédemment. Cette tourbe est d'excellente qualité.

Lorsque le banc de tourbe est à une grande profondeur, on ne l'exploite pas d'abord sur toute sa hauteur, afin de faciliter le travail. En France, on moule la tourbe immédiatement. Le fond des moules est en osier, pour laisser passer l'eau; mais cette méthode n'est pas si bonne que la précédente. On a proposé d'employer des presses pour comprimer la tourbe, mais ce moyen serait trop coûteux.

Quelquefois on exploite des portions de tourbe pour améliorer un terrain; dans ce cas, on la brûle dessus le terrain même.

Lorsqu'on a exploité au-dessus du niveau des eaux, on cherche à avoir une nouvelle reproduction. A cet effet, on fixe dans le marais, au moyen de tiges, des bottes contenant des *sphaignes* et *conferves*. On fait croître dessus des roseaux. Quelques personnes prétendent qu'il faut cent ans pour la reproduction d'une couche peu considérable. En Hollande, on a obtenu une couche de tourbe de bonne qualité au bout de cinq ans. Pour l'exploitation de la tourbe, on paie les ouvriers soit au mètre cube, soit tant par tourbe.

EXPLOITATION DU SEL GEMME.

Le sel gemme se trouve dans la nature sous forme de deux gisements : 1° déposé en couches par la voie neptunienne; 2° disséminé en grandes masses, et postérieur à la formation du terrain dans lequel il se rencontre.

Le sel gemme n'appartient, à proprement parler, à aucun terrain. Cependant, il se rencontre associé avec le gypse, à partir du zechstein, dans les terrains secondaires.

Dans le département de la Meurthe, où sont exploitées les mines de Dieuze et de Vic, les couches de sel accompagnent la formation des marnes irisées. On a commencé 25 sondages dans les grès bigarrés, dans un rayon de huit kilomètres, et ces sondages ont tous traversé les mêmes couches (*fig.* 25, *Pl.* XXVII). On s'est arrêté à la profondeur de $104^m,97$, dans la cinquième couche de sel, mais on sait qu'elle descend encore à un niveau inférieur.

En Angleterre, à Nortwich, près Liverpool, tous les gisements de sel gemme sont dans les mêmes terrains de grès

bigarré. Les exploitations sont très-nombreuses, et on compte 27 mines, réparties sur une longueur de 7 milles, et une largeur de 2,000 toises. A Nortwich, l'exploitation repose sur deux couches, dont la seconde, qui a une puissance de 32ᵐ,40, n'est pas exploitée dans toute son épaisseur. (Voir *l'Explication des Planches*, page 576.)

La *fig.* 24 représente la succession des couches traversées par les puits d'exploitation. Dans ces puits, à la rencontre des bancs d'argile sableuse avec gypse, on est obligé d'employer le *picotage*, à cause de la grande quantité d'eau qui constitue de véritables *niveaux*, comme dans les mines de houille du nord de la France.

En Allemagne, les sels gemmes se rencontrent dans les couches calcaires du zechstein, et dans le muschelkalk.

Le deuxième gisement est beaucoup plus abondant que le premier; et son caractère le plus saillant, est qu'ici le sel gemme a été formé postérieurement.

Les découvertes de couches de sels, dans le département de la Meurthe, conduisirent à faire de semblables recherches dans le département des Basses-Pyrénées. Ici, encore, la présence de sources salées fit penser qu'il devait y avoir des bancs de sel enfouis dans le sein de la terre à une certaine profondeur. Mais les sondages apprirent que si, en effet, le sel gemme existait dans ces localités, sa manière d'être était toute différente de celle qu'on avait observée à Vic et à Dieuze; en un mot, que le sel se rencontrait en amas, dans un terrain toujours bouleversé, et non en couches régulières, et que le gisement n'avait pas lieu non plus dans les marnes irisées, mais à la fois dans les terrains crétacés et tertiaires.

Dans la vallée de Cardonne, l'exploitation a lieu à ciel ouvert; la masse de sel gemme est recouverte par des couches successives de calcaire et de grès (*fig.* 26). D'après l'inspection de cette figure, on pourrait croire que la masse s'étend en profondeur, et qu'elle constitue une véritable couche qui, après le redressement suivant la ligne AB, aurait affecté les mêmes inclinaisons que les bancs qu'elle soutient; mais l'exploitation d'Anance nous donne la clef de cette sorte de gisement. En effet, la masse de sel contient des fragments de craie, et tout le terrain est traversé par des filons de porphyre noir (ophite). — Les fragments de calcaire disséminés dans le sel, sont aussi sillonnés par des druses de gypse et de sel. Il est donc bien évident qu'ici le sel gemme est de for-

mation postérieure aux terrains au milieu desquels il repose.

Les mines de Bex, dans le canton de Vaud, sont en filons au milieu du terrain de trias.

Le système d'exploitation le plus généralement suivi, est celui par piliers et galeries. — C'est ainsi qu'il est exploité à Weliska, en Pologne, à Norwich, en Angleterre, et en France dans les salines de l'est. — L'abattage se fait par gradins droits.

Le sel étant mêlé d'argile, de gypse et de calcaire, on fait un triage par voie de dissolution, qui s'opère dans la mine même, et les eaux saturées de sel sont montées à la surface, au moyen de pompes. — La saturation de l'eau est d'environ 25 pour cent de sel.

La production du sel, en France, peut être ainsi répartie annuellement :

Département de la Meurthe. . . .	350,000 q. m.
Sources salées du Doubs, du Jura et de la Moselle.	120,000
Pyrénées, Bouches-du-Rhône. . .	150,000.

En Angleterre, la production peut être évaluée à 4,600,000 q. m.

CHAPITRE V.

EXPLOITATION DES SUBSTANCES MÉTALLIFÈRES.

SECTION PREMIÈRE.

DIVERSES MÉTHODES.

Méthode par gradins droits. — Cette méthode est applicable aux gîtes de 2^m à $2^m,50$ de puissance, et dont l'inclinaison dépasse 45°. — Le travail est le même que celui que nous avons indiqué pour l'exploitation de la houille. — Les déblais provenant des gangues du minerai, sont accumulés sur des planches en bois soutenues de chaque côté du toit et du mur du gîte, au moyen d'entailles pratiquées dans le rocher. — Le minerai est descendu de gradins en gradins jusqu'à la galerie de roulage.

Méthode par gradins renversés. — Dans ce cas, on attaque les massifs par la partie inférieure. — Cette méthode est généralement employée, elle facilite l'abattage du minerai qui est sollicité par son propre poids. — Dans les mines pro-

fondes, on préfère l'exploitation par gradins droits. — Au Hartz on concilie les deux méthodes.

Méthode par ouvrages en travers. — Elle consiste à percer une galerie d'allongement suivant la direction du gîte, et d'ouvrir des galeries perpendiculaires à cette direction, c'est-à-dire du toit au mur. Un étage étant entièrement exploité, on le remblaie et on continue le même travail sur l'assise de remblais. Le filon argentifère de Schemnitz, en Hongrie, est ainsi exploité. Cette méthode est applicable aux gîtes dont la puissance est plus de 4 mètres. — Par exemple dans les filons connus sous le nom *stocwerks.*

SECTION II.

DES MOYENS EMPLOYÉS POUR ÉPUISER L'EAU DES MINES.

Il existe des exploitations privilégiées par la nature, où les eaux de la surface du sol et celles de l'intérieur s'écoulent sans s'y arrêter : elles s'infiltrent dans des entonnoirs naturels qui s'y trouvent formés par les espèces de terrains. C'est principalement dans les terrains calcaires que cette infiltration a lieu ; aussi les mines de plomb et de fer jouissent-elles seules de cet avantage. Dans les mines où se trouvent des eaux semblables, le minerai se trouve en grain par couches situées entre des fentes de pierres calcaires. Ces fentes ont 2 ou 3 mètres (6 ou 9 pieds) de profondeur : la longueur est variable ; les parois de ces fentes sont verticales, tandis que les couches de minerais sont horizontales ou en amas. La figure 23 de la planche XXVII représente un gîte de fer hydraté du genre dont nous parlons. Dans la Marne, ce sont des excavations de forme irrégulière. A Namur, près de la Meuse, les mines jouissent aussi du même privilège : les eaux ne s'y arrêtent pas, et on peut les exploiter sans les faire écouler ; autrement, c'est là le premier travail qui doit occuper le mineur.

Les eaux, dans les mines, peuvent sourdre de toutes parts, du sol, des parois, du ciel même de l'excavation ; aussi auraient-elles bientôt inondé l'exploitation, si l'on n'employait tous les secours de l'art pour s'en débarrasser. Le mineur a un grand nombre de moyens à sa disposition.

1° Si le terrain de l'exploitation, ou même voisin de l'exploitation, est fendillé, de manière à pouvoir donner passage aux eaux, on creuse une espèce d'entonnoir ou puits perdu, dans lequel elles viennent se rendre. 2° Quand il existe d'anciens

travaux abandonnés, on peut y conduire les eaux de la mine; mais on conçoit que ce dernier moyen n'est avantageux que pendant un temps limité; car une fois les anciens travaux remplis, l'eau ne tarderait pas à revenir dans l'exploitation, et à en gêner de nouveau les opérations. 3° Si les eaux affluent principalement dans une certaine partie de la mine, dans d'anciens travaux par exemple, et qu'un banc compact empêche leur communication avec les travaux actuels, on peut les y retenir à l'aide d'un boisage appelé serrement ou cuvellement. 4° Quand l'exploitation est située en pays de montagnes, au-dessus du niveau d'une vallée par exemple, on peut donner écoulement aux eaux par une tranchée ou par une galerie souterraine. 5° Enfin, quand on ne peut mettre à l'effet aucun des moyens précédents, il faut déterminer les eaux à s'écouler au jour, et pour cela les élever, au moyen de machines, au niveau du sol.

Des Puits perdus.

Le premier moyen, qui est le *puits perdu*, est employé avec avantage dans des terrains de montagnes calcaires. Sur les plateaux qui dominent la Marne, on connaît des mines de fer qui gisent à très-peu de profondeur au-dessous de la surface. Ce minerai de fer d'alluvion repose sur des couches d'argile de quelques mètres d'épaisseur qui ne laissent aucun passage à l'eau. Aussi, pendant la saison des pluies, ces exploitations sont remplies d'eau, et on ne peut y travailler que l'été. Toutefois, comme elles sont situées au-dessus du niveau de la Marne et que le terrain s'y prête, il serait facile d'en faire écouler l'eau dans des puits perdus. Ce moyen sert encore dans les tourbières élevées : comme la tourbe ordinairement repose sur une couche argileuse, si les couches inférieures sont calcaires ou sablonneuses, un trou de sonde suffit souvent pour y perdre les eaux comme nous l'avons déjà dit. Mais dans les pays où ces tourbières sont situées dans des vallées basses, comme dans le nord de la France, par exemple, l'usage des puits perdus n'est plus admissible. En effet, en perçant une des couches de glaise, on donnerait naissance à des sources qui jailliraient aussitôt dans les mines, et, loin de remédier au mal, on ne ferait au contraire que l'accroître.

Le second moyen, qui consiste à donner écoulement aux eaux dans d'anciens travaux, est facile et ne demande aucun soin particulier pour son exécution : nous nous bornerons à l'indiquer.

Le troisième moyen consiste à établir dans les galeries ou dans les puits, des boisages appelés serrements.

Enfin, le quatrième moyen est de donner écoulement aux eaux par des tranchées ou des galeries souterraines. Les *tranchées* conviennent dans les exploitations à ciel ouvert, comme dans les ardoisières par exemple, dans les carrières, les tourbières et la plupart des mines de fer. On doit commencer la tranchée dans la partie la plus basse de l'exploitation. Ce travail doit se faire, daus les carrières, par gradins ou par échelons, afin que les ouvriers ne soient pas gênés par les eaux et que ces dernières se réunissent dans la partie inférieure de la carrière. A mesure que l'exploitation arrive au niveau de la tranchée, on abaisse et on élargit cette tranchée, afin de lui conserver toujours le talus nécessaire pour empêcher l'éboulement, qui devient de plus en plus à craindre. Mais alors les frais de construction augmentent en proportion. On peut en épargner une partie en faisant usage d'un expédient pratiqué daus les mines de Domfront, aux environs de l'Orme. Il consiste à creuser une tranchée avec toute la profondeur qu'elle peut avoir, et lui donnant le talus nécessaire pour que les terres ne s'éboulent pas seulement pendant le travail; puis on établit sur le fond une suite de dalles en pierres; on élève de chaque côté deux petits murs en pierre sèche, sur lesquels on fait reposer d'autres dalles semblables à celles du fond. L'espèce d'aqueduc aiusi formé a ordinairement 1 mètre de hauteur sur 65 centimètres de largeur. Ensuite, sur ce canal, on rejette toutes les terres extraites de la tranchée. Lorsque le terrain est assez consistant, il est plus simple de faire une tranchée verticale; lorsqu'il est un peu meuble, on étaye les parois de cette tranchée avec des bois de construction. Dans tous les cas, il est essentiellement nécessaire de donner au terrain d'une tranchée une pente suffisante pour faciliter l'entraînement des eaux et des terres que celles-ci peuvent emmener. On donne ordinairement 7 millimètres de pente par mètre à ces tranchées; mais lorsque le fond est couvert de dalles, on ne leur donne que 3 millimètres par mètre.

L'aqueduc en pierre que l'on construit quelquefois, a l'avantage remarquable qui permet de donner moins de pente à cet aqueduc et de le désobstruer, si parfois les eaux venaient à y déposer des terres en trop grande quantité. C'est un moyen analogue à celui qu'on emploie dans les ports de mer pour laver les canaux. On ferme l'ouverture du côté de la mine

par une vanne, et on laisse s'élever l'eau à une hauteur assez considérable; puis tout d'un coup on ouvre la vanne. L'eau entrant avec impétuosité dans l'aqueduc entraîne avec elle toutes les immondices qui ont pu s'y amasser, et le lave complètement. On donne à ces aqueducs une dimension de 1 mètre de haut sur 65 centimètres de large; ces dimensions suffisent pour qu'on puisse les visiter, mais elles ne permettent pas à l'ouvrier de pouvoir y travailler pour y faire des réparations. Dans ce cas on est obligé d'ouvrir l'aqueduc à sa partie supérieure. Ces tranchées donnent un moyen facile d'épuiser les eaux des mines de fer, des carrières, des tourbières, mais elles ne conviennent que dans les exploitations peu profondes.

Galeries souterraines.

Lorsque l'exploitation s'approfondit, les travaux alors deviennent impraticables et les tranchées insuffisantes, par la grande quantité d'eaux qui affluent de toutes parts. Dans ce cas, on pratique une *galerie souterraine* qui communique, par l'une de ses extrémités, à l'une des vallées voisines, et par l'autre, à la carrière dont elle reçoit les eaux. Quand une mine est située en pays de montagnes, et qu'il existe non loin de là un bas-fond, l'aspect seul du sol indique quelle direction il convient de donner à la galerie. Souvent on perce de petites galeries qui deviennent bientôt inutiles, à mesure que les mines s'approfondissent, et qu'on est obligé de recommencer plus bas.

L'avantage de creuser, dès le commencement, une galerie profonde et convenable, est inappréciable; elle met souvent à sec, pour plusieurs siècles, une grande hauteur de mine : elle peut favoriser les chutes d'eau intérieure qui sont souvent d'une grande utilité pour les travaux de l'exploitation; elle sert à l'aérage des mines; elle tient lieu de débouché pour le transport des minerais. Il est donc bien essentiel d'établir une galerie d'écoulement à la partie du niveau la plus basse. Pour cela, il faut chercher, par des nivellements successifs, quelle est la plus grande profondeur à laquelle on puisse l'établir; les dépenses ne doivent pas arrêter, quand l'utilité est démontrée. Les mines d'Allemagne nous fournissent des exemples de galeries très-profondes. La grande galerie de Schemnitz a coûté plus de 700,000 fr. avant de parvenir au filon principal. Son niveau est à 450 mètres au-dessus de l'orifice du puits de *Sainte-Thérèse* : elle a 12,000 mètres de longueur.

Les galeries de Freyberg sont aussi très-remarquables. Dans le Hartz, il y a des galeries de plusieurs lieues de longueur, qui dessèchent à la fois plusieurs mines. Dans le comté de Namur, on en remarque une qui a 5,000 mètres de long, qui épuise les mines de plomb de Wedrin. Dans le pays de Liège, les mines de houille et de schiste alumineux ont des galeries d'écoulement de 60 à 80 mètres de profondeur. En France, il y a peu de galeries de mines à citer.

Construction de ces Galeries.

Il y a quatre conditions à remplir pour une bonne et régulière exécution de galerie de mine.

1° En premier lieu, il faut qu'elle soit percée au niveau le plus bas possible;

2° En second lieu, qu'elle soit la plus courte possible;

3° En troisième lieu, qu'elle soit conduite en ligne droite, ou du moins le plus possible, depuis son orifice jusqu'aux travaux qu'elle doit assécher;

4° En quatrième et dernier lieu, qu'elle soit solide et qu'elle ait des dimensions convenables, pour servir, dans l'occasion, à l'aérage, à l'écoulement et au transport des minerais.

La première condition est facile à remplir : c'est de déterminer le point où une galerie doit déboucher et de lui donner le moins de pente possible. On donne ordinairement aux galeries d'écoulement 3 millimètres et demi de pente par mètre.

La seconde condition est fondée sur ce qu'il y a moins de pente perdue et surtout moins de dépense. Elle souffre toutefois de fréquentes exceptions. Il arrive souvent que quand une galerie est ouverte dans le filon, on suit la direction de ce filon et toutes ses sinuosités. Souvent aussi on ouvre la galerie loin du filon et des travaux, on la dirige vers un des points du filon, puis, dans le filon même, on perce une galerie d'allongement qui va communiquer à la galerie principale. On n'arrive pas ainsi par le chemin le plus court, mais on agit économiquement. Quelquefois aussi on s'écarte de la ligne droite pour prendre l'aérage dans d'anciens travaux, pour éviter un roc trop dur, ou profiter d'une galerie ou d'un puits déjà faits, ce qui se pratique assez souvent dans les pays de montagnes. Dans tous les cas, il faudra bien examiner si la réparation des anciens travaux n'exigera pas plus de dépenses que la construction de nouveaux. Enfin, on s'écarte encore de la ligne droite, si dans un endroit voisin on reconnaît un em-

placement favorable pour le creusement d'un puits qui servira à l'extraction des matières de la galerie; autrement, on se conformera ponctuellement à la troisième condition, qui prescrit que la galerie soit le plus en ligne droite qu'il est possible.

La quatrième condition, dont la première partie établit que la galerie soit solide, sera aisément remplie. Selon le terrain, on la boisera ou on la muraillera. Si elle suit le filon et qu'il soit étendu, on fera de petites ouvertures pour le mettre en communication avec la galerie.

La seconde partie de cette condition est une des plus essentielles. En effet, outre qu'il faut que la galerie ait des dimensions convenables pour donner passage aux eaux, elle servira en même temps de débouché aux minerais, d'entrée et de sortie aux ouvriers. En Allemagne, on donne aux galeries d'écoulement 3 ou 4 mètres de haut sur $1^{m},6$ de large. Dans beaucoup de circonstances, il suffit de donner $1^{m},2$ à $1^{m},3$ de large, sur 2 à 3 de haut. Cependant, quand elle doit servir de canal, il faut en augmenter les dimensions, et, de 200 mètres en 200 mètres, l'élargir suffisamment pour que les bateaux puissent se croiser.

Quand la galerie à construire doit avoir une grande longueur, il faut, afin d'accélérer son percement, l'attaquer à la fois en plusieurs points de son prolongement. A cet effet, on établit des puits de distance en distance sur la direction que doit prendre la galerie, et du fond de chacun de ces puits on perce deux bouts de galerie dans l'alignement convenable. Outre l'avantage de faire marcher le travail plus promptement, ces puits facilitent l'aérage et économisent des frais de transport des déblais de la galerie dans toute sa longueur.

Cette manière d'attaquer une galerie sur plusieurs points ne présente pas de difficulté réelle. Il faut d'abord, pour y réussir, se faire un plan exact du terrain sous lequel la galerie sera établie; en second lieu, faire le nivellement de la surface du sol et surtout des points où l'on percera les puits, puis l'on trace le profil de la direction de la galerie. Ce travail achevé, il ne reste plus qu'à donner aux puits la profondeur convenable, et à ouvrir les galeries partielles dans la direction et la pente nécessaires pour aller rejoindre la galerie principale. Il faut donner les plus grands soins à la détermination de la hauteur à laquelle cette galerie doit être percée, et ne creuser les puits qu'en proportion.

La levée du plan du terrain, le nivellement du sol, le

tracé du profil n'offrent rien de difficile; mais ces objets demandent un soin tout particulier, afin de déterminer la direction bien précise de la galerie et la hauteur exacte à laquelle les bouts de galerie doivent être percés dans chacun des puits. Pour déterminer cette hauteur, on emploie deux moyens.

Le premier consiste à placer une boussole à la surface du sol, à tourner l'alidade dans la direction de la galerie et d'observer quel angle forme cette alidade avec le méridien magnétique. Ensuite on descend dans le puits et on tourne la boussole, jusqu'à ce que l'aiguille aimantée fasse avec l'alidade le même angle que l'on a trouvé sur le sol. La direction de l'alidade indique alors celle de la galerie : on marque deux points dans cette direction, et l'on continue les travaux sur cet alignement, en considérant ces points comme appartenant au plafond de la galerie.

Le second moyen est assez généralement employé, bien qu'il soit moins exact. On place sur le diamètre du puits une règle dans la direction de la galerie. Après l'avoir fixée dans cette position, on fait descendre, du même côté de la règle, deux fils-à-plomb. Lorsqu'ils ont atteint le fond du puits et qu'ils sont en repos, on plante deux piquets de repaire aux points où ils touchent la terre, et l'on a ainsi deux points de la direction de la galerie : on place dans cet alignement deux lumières, et on trace la ligne sur le sol ou sur le plafond.

La détermination de la profondeur à laquelle il faut ouvrir les galeries dans chaque puits, offre plus de difficulté. Sans doute il est facile de niveler le terrain, de connaître la différence de hauteur de l'orifice de deux puits. Mais comme le cordeau dont on se sert est susceptible de se raccourcir ou de s'allonger soit par son propre poids, soit par l'humidité, il n'est pas toujours facile de mesurer la profondeur de deux puits de manière à être sûr du résultat. Une chaîne ne présente pas un moyen plus avantageux; car il serait difficile de corriger les erreurs qui auraient lieu, si les mailles venaient à se nouer ou à se tordre. Le moyen d'éviter cet inconvénient est de placer le long de la paroi du puits, à partir de son orifice, une règle d'une longueur connue, de 10 mètres. A l'extrémité de cette règle est fixé, dans le puits, un petit plancher sur lequel un homme peut se placer. Le long du bâton ou de la règle, on laisse glisser un fil-à-plomb qui va jusqu'au fond du puits. A ce moment, l'ouvrier marque sur ce cordeau le point

où il correspond avec l'extrémité de la règle ; on soulève ensuite le cordeau jusqu'à ce que cette marque qui a été faite dessus parvienne à l'orifice du puits : de nouveau l'ouvrier fait une seconde marque, et l'on continue la même opération jusqu'à ce que tout le fil-à-plomb soit épuisé. On a ainsi une mesure exacte du cordeau, et comme on a eu soin d'abord de marquer l'endroit où il effleurait l'orifice du puits, lorsqu'on l'a introduit jusqu'au fond, il s'ensuit qu'on connaît parfaitement la hauteur du puits. D'après cela on détermine facilement le niveau et la profondeur à laquelle on devra percer la galerie. En effet, on connaît la différence de niveau de deux puits consécutifs; en ajoutant ou retranchant cette différence sur le cordeau, selon que le puits que l'on vient de mesurer est plus bas ou plus haut que l'autre, et portant cette longueur dans le puits sur lequel on opère, on obtient ainsi la hauteur exacte à laquelle sera située la galerie dans ce puits. Ces difficultés une fois levées, il en reste d'autres qui ne sont pas moins grandes. Les bouts de galeries partielles que l'on perce ainsi dans chaque puits doivent-ils être minés avec la pente que la galerie générale doit conserver? Dans un sens, la réponse est affirmative ; mais lorsqu'on mine en descendant, on ne peut pas donner la pente pour l'arrivée de l'eau dans chaque puits; le raccordement deviendrait alors trop dispendieux et trop difficile à effectuer.

Pour parer à cet inconvénient, on fait une rigole en pente inverse de la galerie, et au-dessous de cette galerie ; à l'entrée de cette rigole est une digue en glaise, en argile ou en bois, derrière laquelle des ouvriers rejettent l'eau, qui s'écoule alors facilement. Si la quantité d'eau est trop considérable, on se sert d'une pompe foulante qui a un tuyau vertical au pied de sa taille et qui refoule l'eau dans des tuyaux horizontaux placés le long de la galerie.

Quand une galerie d'écoulement est située à une trop grande profondeur pour permettre de creuser des puits intermédiaires, ce qui arrive souvent dans les pays de montagnes, il est nécessaire alors de pratiquer une deuxième galerie en pente inverse au-dessous de la galerie principale : c'est ce qu'on appelle une contre-galerie. On fait ensuite écouler les eaux dans cette contre-galerie au moyen d'une galerie de communication. Les contre-galeries servent encore à l'aérage de la galerie principale. C'est ainsi que la fameuse galerie de Schemnitz a été pratiquée pendant l'espace de 3,000 mètres, au moyen d'une contre-galerie.

Une chose importante dans l'exécution d'une galerie, c'est de bien prendre garde qu'elle ne débouche dans une vallée où une rivière est sujette à des crues trop considérables; autrement la mine serait bientôt inondée. On peut encore se garder de ces crues extraordinaires par une vanne que l'on place devant l'orifice intérieur de la mine, et que l'on tient fermée pendant la crue. Si cette galerie doit servir de canal de navigation, on pratique une ouverture convenable pour la manœuvre des bateaux.

Un autre soin non moins important, est de faire attention que les eaux ne s'infiltrent pas dans le fond du canal et ne se perdent dans les parties inférieures. Pour prévenir cette infiltration, il faut glaiser le sol, et placer dessus des canaux en bois. Dans les mines de houille, on laisse au fond du canal une masse de 8 ou 10 mètres de cette substance, à travers laquelle l'eau ne peut se frayer de passage.

Après avoir développé les moyens de construire une galerie d'écoulement, il nous reste à parler des procédés employés pour faire communiquer les galeries avec les travaux. 1° Le plus communément en usage est celui qui consiste à pratiquer une communication entre la galerie et le filon. Cette galerie d'allongement doit être constamment visitée et réparée pour que le passage des eaux ne soit point obstrué. 2° Souvent on se borne à établir la communication par un trou de sonde; mais ce moyen ne doit être que provisoire, puisque l'ouverture ainsi pratiquée s'obstrue aisément. 3° Un troisième moyen de verser les eaux dans les galeries d'écoulement, consiste à établir la communication par des travaux inférieurs au niveau de la galerie dans laquelle les eaux s'amassent. Il arrive souvent que l'on trouve des cavités pleines d'eau dans le sein de la terre. On pousse la galerie assez près de ces cavités ou d'anciens travaux, s'il s'en trouve, on fait avec la sonde un trou d'avancement; puis on creuse la galerie de 2 ou 3 mètres, en continuant toujours le trou d'avancement : lorsque l'eau commence à venir, les ouvriers se retirent et la laissent s'écouler. Si l'on connaît la distance de l'amas d'eau, après s'en être approché convenablement, on perce un trou de mine que l'on fait sauter au moyen d'un longue mèche. Souvent, pour éviter d'être surpris, on place une porte de sûreté que les eaux ferment en arrivant. Ce moyen de miner des masses de terrains à l'aide de la poudre, a l'avantage d'accélérer les travaux de la galerie.

Machines d'épuisement.

Les modes d'épuisement de l'eau des mines sont extrêmement variés ; et cet art a été connu de tout temps, puisque la première chose à faire dans une mine est de la mettre à sec et de la rendre ainsi propre à l'exploitation.

Les machines employées à cet usage sont :
Le seau à main ou baquet,
La pelle de bateau ou hollandaise,
La pelle à queue ou l'auge à soupape,
Le seau à poulie, à bascule ou à tour,
Les noriats,
Les chapelets inclinés ou verticaux,
La machine de Vérat,
La roue à godets, à aubes ou à tympan,
La vis d'Archimède.

Des Pompes.

Les machines que nous venons de nommer élèvent l'eau, les unes en grand volume, mais à une petite hauteur; les autres d'une petite profondeur; d'autres enfin d'une profondeur plus considérable, mais en volume moindre, et toutes en général d'une profondeur très-limitée. Il nous reste à parler des pompes qui servent à élever l'eau des profondeurs pour lesquelles toutes les machines qui précèdent sont insuffisantes.

La pompe la plus simple consiste en un corps de pompe ouvert à sa partie supérieure avec un dégorgeoir pour donner écoulement à l'eau. Au fond du corps de pompe est un tuyau, d'un diamètre moindre, qu'on appelle *aspirateur*, qui plonge dans l'eau, et muni d'une soupape à sa partie supérieure. Le piston qui, mû par une tige verticale, court dans le corps de pompe, a lui-même, à sa partie supérieure, deux soupapes qui, comme la précédente, s'ouvrent de bas en haut. Si le piston est en haut de sa course, et qu'au moyen de la tige on le fasse redescendre, l'air contenu entre ce piston et la soupape dormante étant comprimé, tendra à s'échapper et soulèvera les clapets ; si, maintenant, on élève le piston, l'air comprimé ayant plus d'espace, perdra de sa force élastique, et les clapets du piston se fermeront tant par leur propre poids, que par celui de l'atmosphère. Alors la soupape dormante s'ouvrira à son tour pour donner passage à l'air contenu entre elle et le niveau de l'eau. Une partie de cet air occupera ainsi l'espace compris entre la soupape dormante et le piston, espace qui se

trouvait presque vide d'après la première opération. De cette manière, l'air restant entre la soupape dormante et le niveau de l'eau ne faisant plus équilibre à la pression atmosphérique qui pèse sur la surface, l'eau montera d'une certaine quantité dans le tuyau aspirateur. En redescendant le piston, on chassera le nouvel air contenu entre lui et la soupape; puis en le relevant une seconde fois, on fera encore passer une certaine quantité d'air compris entre la soupape dormante et le niveau de l'eau qui s'élèvera encore dans le tuyau aspirateur, jusqu'à ce qu'enfin on ait tellement raréfié l'air, que l'eau monte dans le corps de pompe. Le même jeu continuant, tout l'air s'échappe bientôt par les clapets du piston, et donne en peu de temps passage à l'eau qui s'écoule par le tuyau latéral adapté à la partie supérieure du corps de pompe, et le même mécanisme continue sans interruption. On peut facilement calculer la hauteur à laquelle l'eau s'élèvera à chaque coup de piston.

Soit V le volume d'air qui remplit le tuyau d'aspiration, V' le volume d'air dilaté quand le piston est arrivé au haut de sa course, H la hauteur du niveau extérieur de l'eau, et x celle à laquelle elle s'élève à chaque coup de piston, on aura, d'après la loi de Mariotte, $V : V' :: H + x : H$; d'où l'on tire $x = \frac{(V - V')H}{V'}$, valeur de x en fonction des volumes et de la hauteur. On calculera de même les hauteurs suivantes, auxquelles l'eau s'élève à chaque coup de piston. Dans cette manière de disposer la soupape à la limite inférieure du corps de pompe, et à la supérieure du tuyau aspirateur, l'eau, après un certain nombre de coups de piston, montera dans le tuyau principal, et ensuite au-dessus de la soupape du piston, comme on vient de le voir.

Mais il est des cas où ce fait n'a pas toujours lieu, c'est lorsque l'on place la soupape dormante à la limite inférieure du tuyau aspirateur, c'est-à-dire au niveau de l'eau. En effet il pourra arriver que l'eau cesse de monter, si, lorsque le piston descend, l'air condensé entre lui et la soupape ne l'est pas assez pour soulever les clapets du piston et s'échapper. Une troisième disposition non moins vicieuse est celle où le piston, dans sa course, n'arrive pas jusqu'à la soupape dormante, et que cette soupape est elle-même placée à une certaine distance de la surface de l'eau. Dans ce cas, l'air ne pourra pas être assez condensé pour soulever le clapet du piston, ou pas assez raréfié

pour lever la soupape dormante. Dans ce cas il y aura arrêt : ou l'eau restera au-dessous, ou elle restera au-dessus du piston.

Jusqu'ici, dans ces différentes pompes, nous avons considéré le piston au-dessus de la soupape dormante. On construit encore d'autres pompes dans lesquelles le contraire a lieu. La soupape est à la partie supérieure du corps de pompe, et le piston fournit sa course dans la partie inférieure. Mais cette pompe présente le même inconvénient que les deux précédentes ; il pourra encore y avoir arrêt.

ESPÈCES DE POMPES.

Première classe.

On a donné différentes formes aux pompes, et on les a partagées en deux grandes classes : la première renferme toutes celles qui ont un mouvement rectiligne alternatif ; la deuxième, celles qui ont un mouvement de rotation continu. Nous subdiviserons la première classe en deux autres : celles qui produisent un jet intermittent, et celles qui produisent un jet continu.

Pompes aspirantes.

1° Les pompes intermittentes peuvent être aspirantes, ou aspirantes et foulantes, ou même uniquement foulantes. La pompe aspirante la plus simple, se compose d'un corps de pompe muni d'un dégorgeoir à sa partie supérieure, et d'un tuyau d'aspiration, dont le diamètre est moindre, ordinairement, que celui du corps de pompe. Un piston percé, muni de deux clapets, se meut dans le corps de pompe à l'extrémité inférieure duquel est placée une soupape dormante : quelquefois une autre soupape est fixée au bas du tuyau d'aspiration.

2° Une autre disposition consiste à employer un piston plein ; dans ce cas, l'eau, au lieu d'être dégorgée à la partie supérieure du corps de pompe, s'écoule par un tuyau latéral placé à la partie inférieure. En cet endroit est placée la soupape dormante, puis, dans le dégorgeoir, une seconde soupape s'ouvrant en dedans de ce dégorgeoir.

3° Enfin une troisième pompe aspirante a ses clapets dormants placés au-dessus du piston. Ce piston est percé, et sa base supérieure est fermée. La tige qui le porte passe dans une boîte à cuir. L'eau en montant s'échappe par les clapets supérieurs, et s'écoule par un dégorgeoir placé à la partie extérieure du corps de pompe.

Pompes aspirantes et foulantes.

Les pompes aspirantes et foulantes, ou seulement foulantes, peuvent aussi avoir différentes dispositions : elles sont à pistons percés, ou à pistons pleins.

1° Parmi celles à pistons percés, on distingue la pompe élévatoire, qui est composée d'un tuyau d'aspiration d'une très-petite hauteur, et muni, à sa partie supérieure, d'une soupape dormante, et d'un corps de pompe dans lequel se meut un piston à clapets. Le haut du corps de pompe est muni d'un tuyau vertical, dans lequel agit la tige du piston, laquelle passe à frottement dans le diaphragme qui sépare ce tuyau du corps de pompe. L'eau élevée au-dessus du piston se verse dans un tuyau adapté à la partie supérieure de la pompe.

2° La seconde espèce de pompes à piston percé, a un tuyau aspirateur muni d'une soupape dormante à sa partie supérieure, et un corps de pompe fermé par une boîte à cuir par où passe la tige d'un piston à clapets. A l'extrémité supérieure de ce corps de pompe, est un tuyau presque vertical muni d'une soupape qui s'ouvre de bas en haut. L'eau arrive dans ce tuyau après avoir été élevée par le piston, et c'est par là qu'elle se déverse. Cette disposition ne diffère de la précédente qu'en ce que la tige ne se meut pas dans le tuyau vertical.

3° La troisième disposition présente une pompe simplement foulante. Elle se compose d'un corps de pompe plongeant dans l'eau, et portant un tuyau vertical à sa partie supérieure. Ce tuyau est, en cet endroit, muni d'une soupape dormante. Un piston percé de deux clapets se meut dans le corps de pompe ; il tient à une tige renversée qui plonge dans le réservoir d'eau, et qui est traversée par une pièce de bois horizontale, à laquelle on imprime le mouvement par des tiges verticales fixées à ses extrémités. La soupape du piston s'ouvrant de bas en haut, lorsque celui-ci entre dans l'eau, elle s'élève au-dessus et passe par le tuyau vertical.

Pompes foulantes.

1° Les pompes à pistons pleins présentent deux formes remarquables. La première a un tuyau d'aspiration très-court au-dessous du corps de pompe, et qui est muni d'une soupape dormante. Le corps de pompe qui le surmonte est très-long, et percé latéralement par deux ouvertures, l'une au-dessus, et l'autre au-dessous de la course du piston qui

est plein. Ces deux ouvertures communiquent entre elles au moyen d'un tuyau latéral recourbé, dont la partie la plus basse est munie d'un clapet s'ouvrant de dedans en dehors. Le piston étant au bas de sa course, si on l'élève, l'eau monte au-dessus de la soupape dormante, et passe par l'orifice inférieur du tuyau latéral; le piston redescendant, l'eau est lancée dans ce tuyau, soulève la soupape, et arrive par l'orifice supérieur sur le piston, qui l'élève en montant et la verse à la partie supérieure du corps de pompe.

2° La seconde disposition est composée d'un corps de pompe court et fermé à la partie inférieure par une boîte à cuir, dans laquelle se meut la tige du piston; à la partie supérieure sont deux orifices munis chacun d'un clapet qui s'ouvre en sens contraire. Le clapet qui s'ouvre en dedans tient au tuyau d'aspiration, qui plonge dans un réservoir d'eau; et le clapet qui s'ouvre en dehors tient au tuyau montant qui donne écoulement à l'eau. Le piston, en descendant, aspire l'eau, et en s'élèvant la refoule dans le tuyau montant, où elle est retenue par la soupape d'arrêt. Dans ce genre de pompes, des pertes d'eau ont lieu presque toujours à la partie inférieure du piston.

Telles sont les formes principales des pompes aspirantes et foulantes donnant de l'eau par intermittence. Toutes ces pompes deviendraient uniquement foulantes, si l'on abaissait leurs corps de pompe au-dessous de la surface de l'eau, et si le piston même, en arrivant à l'extrémité de sa course, plongeait dans l'eau. Les plus usitées sont les pompes aspirantes. On les emploie ordinairement dans les mines, où elles sont mues par des roues hydrauliques. Les pompes dites élévatoires sont employées dans les mines profondes, et mises en mouvement par des machines à vapeur.

CHAPITRE VI.

ÉCLAIRAGE ET AÉRAGE DES MINES.

SECTION PREMIÈRE.

ÉCLAIRAGE DANS LES MINES.

L'éclairage, dans les mines, se fait de plusieurs manières: il y a à distinguer :

1° Le cas où les mineurs ont à travailler dans un milieu

exempt d'hydrogène carboné; 2° le cas où les galeries sont infectées de ce gaz délétère qu'en terme de mineurs on nomme *grison*, ou *hydrogène protocarboné* des chimistes.

Pour le premier cas, les conditions d'éclairage sont très-simples. On se sert alors le plus généralement de suif ou d'huile. — Le suif est employé en petites chandelles, et les mineurs de la Saxe, où ce mode d'éclairage est en usage, consomment, par poste de huit heures, 62 grammes de suif environ.

A Anzin, on se sert d'un flambeau à chandelle, dont le manche est en bois, et le chandelier en laiton ou en fer. Chaque mineur brûle 125 grammes de suif par poste de huit heures, ou environ quatre de ces petites chandelles.

Au Hartz, on emploie une lampe à suif, en fer ou en laiton. La mèche est maintenue par une pièce mobile en métal. La consommation, par poste de huit heures, est en moyenne de 153 à 215 grammes de suif de cheval. Au Hartz, dans le pays de Mark, et dans presque toutes les mines de France et d'Angleterre, on se sert de lampes à huile. Leur construction est très-variée, mais la forme la plus ordinaire est celle d'un ellipsoïde très-aplati dans le sens horizontal. Aux extrémités du petit axe est fixée une tige de fer cintrée, qui sert de poignée, et à laquelle tient un crochet qui maintient la lampe dans le boisage ou dans le rocher. La mèche est cylindrique et trempe directement dans l'huile. Une petite chaîne fixée à l'appareil, et au bout de laquelle est suspendue une aiguille, sert à gouverner la mèche. La consommation d'huile, dans ces sortes de lampes, est d'environ 145 grammes par poste de huit heures.

Dans le deuxième cas, où la présence de l'hydrogène carboné est à craindre, on ne peut pas employer ces sortes de lampes. Dans quelques mines de l'Angleterre et de la Belgique, on s'est servi d'un appareil appelé *roue à silex*, mais les étincelles produites par le choc de la roue contre la pierre peuvent enflammer le gaz.

A l'aide du *phosphore de Canton*, qu'on pouvait se préparer à bon compte, on a essayé aussi d'éclairer le travail du mineur; mais ces moyens, le premier trop dangereux à mettre en pratique, le second donnant une lumière trop faible, ont dû être abandonnés aussitôt que l'emploi de la lampe de Davy a été connu.

Dans certaines mines du bassin de la Loire, il y a à peine vingt ans, on se débarrassait du gaz hydrogène carboné, en

y mettant le feu; c'était un ouvrier qui était chargé de cette périlleuse manœuvre : il s'avançait sur le ventre en ayant soin de se faire précéder d'une longue perche au bout de laquelle était une torche enflammée; lui-même était couvert d'un vêtement en cuir mouillé. Cependant, le danger était tel qu'un grand nombre de ces malheureux périssaient. Cette méthode, aussi barbare qu'insuffisante, compromettait la solidité de la mine ; car, après l'explosion, les galeries s'éboulaient et le feu se communiquait souvent au boisage. En outre, le dégagement d'acide carbonique qui se produisait, remplissait l'intérieur de la mine et menaçait les ouvriers d'asphyxie.

On avait aussi imaginé de placer, dans les endroits où se dégageait du grison, des lampes dites éternelles. On conçoit bien qu'on pouvait ainsi brûler le gaz à mesure qu'il se dégageait, mais comme on ne pouvait empêcher le dégagement d'acide carbonique, on évitait un danger pour retomber dans un autre. On a donc renoncé à ce procédé imparfait dans la plupart des houillères.

Cependant, le travail des mines était à chaque instant compromis par cet adversaire redoutable, et tous les moyens qu'on imaginait pour s'en rendre maître, ne tendaient qu'à des résultats bien peu satisfaisants. Tel était l'état des choses, lorsque Davy, à la suite de nombreuses expériences, proposa une lampe de sûreté qui porte aujourd'hui le nom de son illustre inventeur.

Davy avait reconnu que l'inflammation du gaz hydrogène carboné n'avait lieu que sous l'influence d'une haute température; il pensa donc que cette inflammation n'aurait pas lieu, lorsque le contact d'un corps bon conducteur pourrait déterminer le refroidissement prompt du mélange.

Il reconnut, en effet, que la flamme du gaz des houillères ne pouvait traverser un tube métallique de 67 millimètres de long et de 4 millimètres de diamètre. Il essaya de raccourcir les tubes en ayant soin de diminuer en même temps leur diamètre, et il fut conduit ainsi à s'assurer que des plaques minces de métal percées de très-petits trous, ou une gaze métallique à mailles très-serrées, ne laissaient point passer la flamme. Dès lors, le problème qu'il s'était posé dans le principe fut résolu.

Ce problème, assez complexe, devait satisfaire aux conditions suivantes :

1° Ne pas intercepter la lumière de la lampe.

2° Être perméable aux gaz, afin que l'air puisse pénétrer dans l'appareil pour activer la combustion.

3° Être imperméable à la flamme, afin que, dans le cas où l'air qui remplit la lampe viendrait à s'enflammer, l'inflammation ne pût pas se propager dans la mine.

Aussitôt après leur invention, les lampes de sûreté furent employées dans plusieurs mines du Nord et de l'Angleterre. Bientôt après, elles furent introduites dans les houillères de la Belgique et du nord de la France, et ce n'est qu'en 1825 que l'on put parvenir à les introduire dans les mines du département de la Loire.

Dans les mines de ce département, le nombre des victimes des explosions a été, pendant les sept années qui ont précédé l'adoption de la lampe de Davy, de 101, et seulement de 60 pendant les sept années qui l'ont suivie. — Ce qui fait, pour la moyenne de chaque année, dans cette dernière période, 8,57.

Cependant, dans les mines du nord de l'Angleterre, on remarqua que le nombre des victimes fut beaucoup plus grand pendant les premières années qui suivirent l'emploi de cette lampe de sûreté. Cela paraît tenir à ce qu'on a donné tout d'abord aux travaux un développement beaucoup plus considérable qu'on ne le faisait auparavant; qu'ensuite, la confiance trop grande qu'on a eue dans l'appareil a fait négliger les moyens d'aérage et les soins qu'exigeait l'emploi de la lampe, et, qu'en dernier lieu, on a repris, sans assez de précaution, des travaux infectés de gaz inflammables abandonnés depuis longtemps.

La lampe de Davy, depuis l'époque de sa découverte, a subi quelques modifications qui portent principalement, 1° sur le mode de fermeture pour fixer la cheminée; 2° sur l'emploi d'un réflecteur qui a pour objet d'augmenter l'intensité de la lumière.

Telle qu'on s'en sert actuellement dans les mines, elle se compose: 1° d'un réservoir d'huile, traversé par un petit crochet, à l'aide duquel on peut moucher la mèche, sans être obligé d'enlever la gaze, qui est maintenue sur le réservoir au moyen d'un anneau en cuivre, vissé lui-même sur la lampe; 2° de la cheminée en toile métallique, contenant environ 144 ouvertures rectangulaires par centimètre quarré de surface, protégée par quatre ou cinq montants en fer, qui viennent se fixer sur la plate-forme circulaire du réservoir: la partie supé-

rieure de ce cône est renforcée d'une seconde calotte en toile métallique, pour prévenir l'usure de la première; 3° d'un réflecteur en cuivre ou en fer étamé; 4° d'un fil de platine disposé en spirale au-dessus de la mèche. Il est destiné à faire connaître l'état de l'air contenu dans la mine, et à rallumer la lampe si la trop grande quantité du gaz l'avait éteinte. Les figures 35, 36, 37 et 38 représentent la disposition de ces appareils.

Dans beaucoup de mines on se dispense des réflecteurs et des fils de platine. Le maître mineur, seul, ou les chefs de poste sont munis de ces appareils complets.

La lampe de Davy a le grave inconvénient de donner peu de lumière. On a reconnu, par des expériences directes, que ces sortes de lampes perdent environ un cinquième de leur lumière. Cette perte devient encore plus considérable surtout vers la fin des postes, alors que les matières fuligineuses de la combustion de l'huile, et la poussière fine du charbon, se sont déposées entre les mailles de la toile métallique. En Angleterre, on avait remédié à cet inconvénient, en adaptant exterieurement au cylindre, à la hauteur de la mèche, une lentille destinée à empêcher la divergence des rayons lumineux, mais on a abandonné ce moyen depuis l'invention des réflecteurs qui, outre la modicité du prix, éclairent une bien plus grande étendue.

Le reproche le plus fondé qu'on puisse faire à la lampe de Davy, est que, sous l'influence d'un courant d'air rapide, la flamme passe au travers des mailles, et cela avec d'autant plus de facilité, que le courant est plus rapide et la température des tissus plus élevée. — Davy lui-même avait constaté ce fait.—Pour remédier à cet inconvénient, on a donc cherché dans les modifications qu'on a fait subir à cet appareil, soit de soustraire la lampe à l'action du courant d'air, ou d'empêcher que le cylindre ne s'échauffe.

Lampe de Roberts. Roberts présenta à la commission d'enquête de la chambre des communes, une lampe qui tire sa propriété conservatrice du même principe que celle de Davy, mais elle en diffère cependant par un assez grand nombre de points pour ne pas être considérée uniquement comme une simple modification.

La toile métallique est entourée jusqu'aux deux tiers par un cylindre en cristal, maintenu en place par un autre cylindre en cuivre, qui entoure la partie supérieure de la toile métal-

lique, et se visse dans un écrou en cuivre. La flamme de la mèche se trouve doublement protégée par le cylindre en cristal et par l'enveloppe en toile métallique. Le cylindre en verre la garantit de l'agitation de l'air, et prévient ainsi le trop grand échauffement et l'altération des cylindres. — Si ce cylindre vient à se briser par une cause quelconque, il reste encore la toile métallique, et l'appareil offre encore le même degré de sûreté que la lampe de Davy. On a opposé deux objections aux lampes de Roberts : 1° la fragilité du verre. Mais elle paraît peu fondée, car le cylindre en cristal épais est bien protégé contre toutes les chances de rupture qui pourraient survenir du dehors. Cependant ces lampes devraient rester en repos dans la mine, et ne servir uniquement qu'à l'éclairage des piqueurs. Il faudrait éviter, autant que possible, de la promener dans les travaux, à la suite des rouleurs de charbon.

La seconde objection, qui me paraît plus fondée, est que la lumière est encore plus faible que dans les lampes de Davy. — C'est là un fait important, mais qui, cependant, ne doit pas faire rejeter l'emploi de cette lampe, qui offre la plus grande garantie contre les chances d'explosion. Malgré cela, l'usage en est peu répandu dans les mines, à cause sans doute de son prix qui est trois fois plus élevé que celui des lampes Davy.

La *lampe de Muesler* est à peu près semblable à celle que nous venons de décrire, mais elle en diffère sur quelques points. La flamme est renfermée dans un cylindre en verre très-épais, lequel est surmonté d'une enveloppe en toile métallique. Les gaz qui ont servi à la combustion s'échappent dans une cheminée en tôle placée au-dessus de la mèche. La hauteur de cette lampe est de 35 centimètres, ce qui lui donne un poids bien plus considérable que les lampes de Davy, et c'est un reproche fondé qu'on peut adresser à ce mode d'éclairage de sûreté. L'enveloppe en verre est recuite de manière à ne pouvoir se briser par la projection de l'eau. Elle doit être aussi protégée contre les chocs, car, sans ces précautions, toute sûreté serait illusoire. Cette lampe a le principal avantage de donner un pouvoir éclairant supérieur aux lampes de Davy et de Roberts.

Lampe Duménil. Cette lampe fut présentée à l'Académie des sciences en 1838. Elle est établie sur un principe analogue aux lampes Roberts et Muesler, mais la construction en est fort différente. Le réservoir d'huile est fixé latéralement, et

la mèche est plate et alimentée par deux courants d'air qui partent de deux tubes inclinés fixés au fond de la lampe. Les extrémités de ces tubes sont recouvertes d'une toile métallique, qu'il est facile de changer en cas d'usure. Un cylindre épais en cristal, pesant un demi-kilogramme, est maintenu entre deux plates-formes par des rainures remplies de laine. Une grille en tôle de fer réunit les deux plates-formes par trois boulons. On peut y adapter un réflecteur. Le cylindre en cristal est surmonté d'un double tube en fer-blanc; celui intérieur est mobile, et présente à la flamme une ouverture plus large; il active le courant d'air, et protège ainsi le cristal contre la chaleur et la fumée. Cette lampe peut avoir 40 centimètres de haut. Son prix d'achat varie de 4 à 7 francs. Cette lampe fut soumise à de nombreuses expériences par M. Gruner, professeur de chimie et de métallurgie à l'École des Mineurs de Saint-Étienne. Voici le résumé de son rapport :

« La lampe de M. Duménil paraît être : 1° d'un emploi » moins dangereux que la lampe de Davy, toutes les fois » qu'elle sera destinée à être suspendue ou à être posée à » terre.

» 2° Elle est moins simple et plus volumineuse que la lampe » de Davy, mais elle éclaire beaucoup mieux, et doit mériter, » sous ce rapport aussi, la préférence.

» 3° La fragilité du verre ne paraît pas être la cause d'un » danger bien réel, si la lampe n'est pas mise entre les mains » des traîneurs de charbon.

» 4° Cette lampe présentera, toutefois encore, des chances d'explosion, tant que l'on ne parviendra pas à fermer » la partie supérieure de la cheminée par un treillis métallique. »

A l'époque de la découverte de cette lampe, l'auteur en adressa quelques-unes aux mines du Creusot, où elles furent essayées; mais nous reconnûmes bientôt les mêmes inconvénients signalés plus haut par M. Gruner : son poids est trop considérable, et sa forme trop embarrassante, pour la confier à des mineurs qui descendent dans les travaux au moyen d'échelles verticales déjà fatigantes par elles-mêmes. Ces lampes ne conviennent, à notre avis, que pour l'éclairage des tailles, et doivent toujours être en place. C'est une condition indispensable pour rencontrer dans cet appareil les garanties de sûreté.

Nous avons représenté par un plan, une coupe et une élé-

vation (*fig.* 39, 40 et 41), la lampe de M. Duménil, telle que nous l'avons décrite.

Il nous reste maintenant à dire quelques mots sur les propriétés du gaz hydrogène protocarboné, et sur les endroits où il se rencontre le plus fréquemment.

Ce gaz se compose de deux volumes d'hydrogène et d'un volume de vapeur de carbone condensés en un seul. Sa pesanteur spécifique est de 0,555.

C'est dans les mines de houille grasse que ce gaz se rencontre le plus souvent. Il se dégage soit de la surface même de la houille, dans les pores et cavités de laquelle il est renfermé sous une forte pression, soit des feuillets du schiste, soit enfin des fentes du grès.

Ce gaz s'échappe plus facilement des surfaces de la houille nouvellement mises à nu, que des surfaces déjà anciennes. Ainsi, en règle générale, on pourrait établir qu'il est plus abondant dans les travaux en activité que dans les vieilles exploitations; néanmoins, comme celles-ci renferment souvent des espaces vides dans lesquels l'air ne circule point, le gaz s'y accumule, et forme, au bout d'un certain temps, de vastes réservoirs d'où il s'épanche abondamment dans les galeries voisines. Le gaz hydrogène carboné se mêle avec l'air répandu dans la mine, à mesure qu'il se dégage; toutefois, en vertu de sa faible densité, il se porte de préférence dans les endroits les plus élevés de la mine, et dans ceux où le courant d'air est peu actif.

Mêlé, dans de certaines proportions, avec l'air atmosphérique, le gaz hydrogène carboné détonne à l'approche d'un corps en combustion. Les produits qui en résultent, sont de l'eau et une quantité égale à son volume d'acide carbonique. C'est cette dilatation subite des gaz et de la vapeur d'eau qui produit les courants les plus violents, et, par suite, des ravages épouvantables dans les mines.

En mettant en contact un mélange d'air atmosphérique avec le gaz inflammable, Davy a observé les résultats suivants :

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

D'après ces observations, on voit que le mélange le plus détonnant est celui composé de 1 de gaz, et 7 à 8 d'air. Les lampes s'éteignent tout-à-fait lorsque le mélange est composé d'un tiers de gaz hydrogène carboné et de deux tiers d'air at-

GAZ de la houille.	AIR.	OBSERVATIONS.
1	2	Le mélange brûle sans détonnation.
1	3	*Id.* *id.*
1	4	*Id.* *id.*
1	6	Inflammation.— Détonnation légère.
1	7	*Id.* Détonnation plus forte.
1	8	*Id.* *id.*
1	9 à 14	*Id.* Détonnation décroissante.
1	15	Ne s'enflamme plus. — La flamme de la bougie s'éteint.
1	16 à 30	Ne s'enflamme plus. — L'élargissement de la bougie diminue graduellement.

mosphérique. Dans ce cas, on ne peut le respirer sans de graves inconvénients.

Avec les appareils perfectionnés, un accident est encore chose possible : la plus légère imprévoyance suffit pour produire les résultats les plus désastreux : la chute d'un corps quelconque sur une lampe, la rupture de la toile métallique, un courant d'air provoqué par un éboulement, mille autres causes, enfin, impossibles à prévoir, peuvent rendre inutiles, en un instant, toutes les précautions qu'on avait soigneusement prises.

Une ventilation bien ordonnée dans l'intérieur d'une mine est, sans contredit, le moyen le plus sûr de diminuer les chances d'accidents, en simplifiant le rôle que les appareils d'éclairage de sûreté sont appelés à remplir. Nous allons donc nous occuper de cette importante question.

SECTION II.

AÉRAGE DES MINES.

L'air des mines et de toutes les excavations souterraines est altéré :

1° Par la soustraction d'une partie de son oxigène;

2° Par les gaz étrangers qui se produisent dans les travaux et qui se renouvellent constamment.

L'oxigène est enlevé à l'air atmosphérique par les causes suivantes : la respiration des ouvriers, la combustion des lampes par la décomposition chimique des matières qu'on emploie dans les mines ou qui s'y rencontrent, et par la déflagration de la poudre qu'on emploie à l'abattage des roches.

Les gaz qu'on rencontre le plus souvent dans les mines sont :

1° Dans les mines de mercure et d'arsenic : des vapeurs mercurielles et arsenicales;

2° L'acide carbonique ;

3° L'azote en excès;

4° L'hydrogène protocarboné pur, ou mélangé d'oxigène;

5° L'hydrogène sulfuré ;

6° L'oxide de carbone ;

7° L'acide sulfureux;

8° Des miasmes qui sont des gaz indéfinissables à l'analyse, et qui répandent dans les excavations une odeur infecte, en exerçant sur les hommes qui les respirent une action fortement délétère.

Air atmosphérique. Il est composé de 21 parties, en volume, d'oxigène et de 79 d'azote ; ou, en poids, 23,10 d'oxigène et 76,90 d'azote. Il contient toujours, en outre, de l'acide carbonique, mais en très-petite quantité, environ un millième, et un peu de vapeurs d'eau. La pesanteur spécifique de l'air sec ou privé de vapeurs d'eau étant prise pour unité, la pesanteur de l'oxigène sera représentée par. . . 1,1036

Celle de l'azote par. 0, 976

Celle de la vapeur d'eau par. 0, 624

L'air expiré par les poumons ne contient plus que 18 d'oxigène, 3 d'acide carbonique et 79 d'azote. Le volume d'air inspiré par un homme est d'environ 19 mètres cubes par vingt-quatre heures, ou 792 litres par heure.

Acide carbonique. Il est composé d'un atôme de carbone et de deux atômes d'oxigène, ou, en poids, de 27,36 de carbone et 72,64 d'oxigène. Sa densité est de 1,5245, l'air étant 1. C'est en vertu de cette pesanteur que ce gaz, quand l'air est tranquille, occupe toujours les régions les plus basses des excavations. Il éteint les corps en combustion. On estime qu'il faut 1/40 d'acide carbonique dans l'air pour provoquer l'asphyxie. Sa formation dans les mines est principalement due à la respiration des hommes, à la combustion des chandelles ou de l'huile, à la houille en contact avec l'air atmosphérique, et à la décomposition des matières animales et végétales.

On ne doit pénétrer qu'avec les plus grandes précautions dans les endroits où l'on soupçonne la présence de ce gaz. On doit préalablement jeter un corps enflammé pour voir s'il brûle, ou faire descendre une lampe allumée.

Azote. Sa pesanteur spécifique est représentée par 0,976. Ce gaz est aussi impropre à la respiration, mais son action sur l'économie animale n'est pas aussi nuisible que celle de l'acide carbonique. L'air atmosphérique, appauvri d'oxigène jusqu'à un certain point, et, par conséquent, plus chargé d'azote, peut encore être respiré sans aucun danger, et entretient la combustion.

Hydrogène sulfuré. Sa pesanteur spécifique est de 1,1912. Ce gaz exerce sur l'économie animale une influence délétère très-grave. Il se forme toutes les fois que le soufre est en contact avec l'hydrogène naissant; aussi sa présence est-elle fréquente dans les mines où il se rencontre des pyrites de fer. Il se développe encore dans la décomposition des matières animales. Plusieurs sources minérales en renferment, et, par cela seul, il pourrait se faire qu'il pénétrât dans des excavations au travers des fissures de la roche.

Acide sulfureux et oxide de carbone. Ces gaz se forment à la suite de la déflagration de la poudre de mine, et de la combustion vive de la houille et des boisages dans les houilles en feu. L'oxide de carbone, dont la pesanteur spécifique est de 0,957, prend feu à l'approche d'un corps en ignition, et brûle avec une belle flamme bleue. Dans les mines où l'on a à combattre les incendies qui s'y déclarent, on rencontre très-souvent ce gaz, qui prend feu à l'approche des lampes.

L'acide sulfureux se dégage naturellement dans le voisinage des volcans brûlants. Sa pesanteur spécifique est de 2,1204.

Vapeurs mercurielles. Elles se développent dans les riches exploitations d'Ydria, de Carniole et d'Almadan, etc. Une forte ventilation ne saurait priver la mine de la présence de ces vapeurs qui exercent une action des plus délétères sur les ouvriers.

Vapeurs arsenicales. On les observe principalement dans les mines où on exploite l'arsenic des arseniures. Ces vapeurs sont convenablement chassées par un aérage actif, et ne paraissent pas exercer une influence pernicieuse sur la vie des ouvriers.

Aérage naturel.

Quand l'air s'introduit dans une mine, et circule dans les

galeries par la seule influence des différences de poids spécifiques entre l'air atmosphérique et l'air contenu dans les travaux, l'aérage est dit naturel. Au contraire, il est artificiel lorsque, par l'insuffisance de ce premier moyen, on a recours à l'emploi d'une force motrice quelconque et continuellement agissante. On doit donc toujours commencer par donner aux travaux qu'on entreprend une disposition telle que l'aérage naturel soit suffisant; mais cela n'est pas toujours possible, et, dans les mines qui offrent un grand développement, on est forcé d'avoir recours à une seconde force que doit cependant aider la première. Le cas le plus simple qui puisse se présenter, est celui où l'air doit se distribuer dans des travaux qui ne communiquent au jour que par une seule ouverture. C'est celui que nous allons examiner en premier lieu.

Puits et galeries en creusement. Par les propriétés de diffusion dont jouissent les gaz, l'air peut facilement se renouveler dans ces sortes d'excavations.

Dans le perçage d'un puits, lorsque les parois de la roche ne laissent échapper aucun gaz d'une nature particulière, l'aérage se fait très-bien l'hiver, mais plus difficilement l'été. Dans le premier cas, l'air du fond du puits, échauffé par les lampes et le tirage des coups de mine, se trouve moins dense que l'air extérieur, et, par conséquent, tend à monter en vertu de sa plus grande légèreté. Pendant l'été, le contraire a lieu, à moins, cependant, que les dimensions du puits ne soient très-grandes; ce qui permettrait une diffusion plus complète, et, par suite, un mélange à peu près à la même température qu'à l'extérieur. L'eau qui filtre au travers des parois de la roche, en entraînant avec elle une certaine quantité d'air, facilite beaucoup l'aérage naturel et détermine des courants.

Pour une galerie dont la pente serait ascendante, l'aérage se ferait mieux en été qu'en hiver, et si l'avancement se faisait dans une couche de charbon, on conçoit que, dans ces mêmes circonstances, un dégagement d'acide carbonique ne nuirait pas, tandis que la présence de l'hydrogène protocarboné gênerait beaucoup. Si la galerie était horizontale et de dimensions suffisantes, il s'établirait naturellement deux courants en sens contraire, l'un au-dessus du sol de la galerie, l'autre à la couronne.

Parvenus à une certaine profondeur et à une certaine dis-

tance, les puits et galeries ne peuvent plus s'aérer naturellement. Il suffit généralement, dans ce cas, de les diviser en deux compartiments, en ayant soin de boucher hermétiquement les puits avec de la mousse ou de la terre. S'il s'agit d'un puits, la cloison doit être parallèle à l'axe ; on surmonte ordinairement l'une des deux de quelques mètres au-dessus du sol, pour activer le courant d'air. Pour une galerie, elle sera ou parallèle ou perpendiculaire à l'axe. Souvent aussi, au lieu de compartiments, on place dans l'angle du puits ou de la galerie, des coffres en bois dont la section est quarrée ou rectangulaire. Ces coffres, dont les extrémités sont taillées en biseau, s'assemblent les uns dans les autres ; et on calfate les joints avec des étoupes ou de la terre glaise. On ne doit pas craindre de donner à ces caisses, que l'on fait généralement en sapin, une grande section, car, plus la section sera grande, plus il entrera d'air. A des profondeurs plus considérables encore, en été, par exemple, où l'air des travaux a plus de densité, ces moyens d'aérage sont souvent insignifiants; il convient alors d'employer un ventilateur qui refoule de l'air pur dans les puits ou galeries. Un homme seul suffit ordinairement à cette manœuvre.

Cas où les travaux communiquent au jour par deux ou plusieurs ouvertures.

En prenant le cas le plus simple, celui où une galerie communique avec deux ouvertures au jour, il est évident que la circulation de l'air s'établira, pourvu, toutefois, que les puits soient à des niveaux différents.

Les travaux d'une mine se composent d'un grand nombre de galeries, percées dans tous les sens, qui se communiquent entre elles. Elles sont établies dans le gîte même qu'on exploite et disposées souvent à différents niveaux. Dans ces sortes de travaux, quand il n'y a pas dégagement de gaz nuisibles, et que les ouvertures, communiquant au jour, ne sont pas très-éloignées, l'aérage s'établit naturellement bien en ayant soin d'élever davantage au-dessus du sol un des orifices d'entrée ou de sortie d'air. — En hiver, l'aérage est si actif qu'il devient indispensable de modérer la vitesse du courant, pour ne pas gêner le travail des ouvriers. A cet effet, on établit, dans les galeries principales, des portes qui ne laissent passer, par une fermeture imparfaite, qu'une quantité d'air suffisante, qu'on peut augmenter ou diminuer à volonté. On rétrécit encore

les galeries de passage; l'air, en éprouvant une plus grande résistance, se distribue avec moins de force. On a vu que les courants d'air changent en hiver et en été : qu'ainsi, le puits d'entrée d'air dans l'hiver, devient l'orifice de sortie en été. Cela n'est vrai qu'autant que la température de la roche détermine seule l'influence des courants; — mais, généralement, dans les mines, et principalement dans celles de houille, le dégagement du gaz hydrogène proto-carboné, joint à la chaleur développée par des parties de charbon qui brûlent, sont cause que le sens du courant reste toujours le même en été et en hiver.

Pour les travaux qui communiquent au jour par plusieurs ouvertures, l'aérage s'établit encore bien plus facilement. Et, en général, il devient d'autant meilleur, que les orifices sont plus multipliés.

L'aérage naturel offre, en résumé, beaucoup d'irrégularité, et devient presque toujours insuffisant dans les mines qui ont un très-grand développement, et surtout quand les puits ne sont pas très-rapprochés; on est donc obligé, pour y faire circuler de l'air en quantité suffisante, de recourir à des moyens artificiels.

Aérage artificiel.

Nous venons de voir que l'air, en se distribuant dans les mines, établit des courants qui assainissent les travaux; mais il arrive que, quand les travaux ont un certain développement, cette circulation n'est pas assez active pour chasser tous les gaz qui prennent naissance. Dans ce cas, on fait usage d'une grille, qu'on suspend dans l'intérieur du puits et qu'on nomme *tocfeu*. — Ce tocfeu est maintenu par une chaîne métallique, qui s'enroule sur le tambour d'un treuil à l'orifice du puits. Cette disposition n'est pas avantageuse, car le tirage étant en raison directe de la colonne d'air échauffée, on conçoit que ce foyer doit occuper la partie la plus basse du puits. — Il convient alors de placer le foyer dans une galerie au rocher, pratiquée aux alentours du puits.

Cette disposition ne saurait convenir quand la mine est sujette à une production de gaz inflammable; car l'air devenant explosif, s'enflammerait lors de son passage sur le foyer, et de là l'explosion, en se propageant dans l'intérieur des travaux, causerait les plus graves accidents. — Il convient donc, dans ce cas, d'alimenter la combustion du foyer par un courant d'air pur, venant directement de l'extérieur, ou par un

courant qui n'ait parcouru que des galeries saines, — ou bien encore, si l'on veut employer l'air qui a parcouru les travaux, on ne le fait arriver sur le foyer qu'après avoir traversé des diaphragmes en toile métallique, ou d'étroits et longs tubes métalliques, de manière à ce que, l'explosion venant à se manifester, elle ne puisse refluer dans la mine. Dans les houillères du Nord, l'air qui arrive sur le foyer n'a point circulé dans les travaux, mais il vient le plus souvent du jour par des petits puits appelés *beurtias*, percés à côté du grand puits d'extraction. — La chambre qui contient le foyer d'appel est en communication, d'une part, avec les beurtias, et de l'autre avec le puits principal qui sert à l'extraction de la houille et à la sortie de l'air. Ce foyer est muni d'un régulateur qui permet de donner la quantité d'air destiné à activer la combustion : — c'est une double porte percée d'ouvertures, et placée dans la galerie qui conduit des beurtias au foyer. L'air échauffé s'échappe par une cheminée qui débouche dans le puits d'extraction à 20 mètres au-dessus du foyer. Cette distance est convenable pour éviter que des étincelles ne puissent arriver dans le puits où remonte l'air vicié. La galerie conduisant les beurtias à la voie de retour, doit être soigneusement fermée, afin que, dans aucun cas, l'air sortant des travaux ne puisse arriver au foyer.

Si l'on n'avait pas une descenderie principale d'air, on conçoit qu'à l'aide du puits d'entrée de l'air, on pourrait, au moyen d'une galerie, mettre en communication une certaine quantité d'air pur avec le foyer. — On en réglerait, comme précédemment, la dépense au moyen de portes percées de petites ouvertures.

Dans le nord de l'Angleterre, toutes les mines sont ventilées par des foyers d'aérage. — La méthode qu'on emploie diffère de celle que nous venons d'indiquer, et n'offre pas les mêmes garanties de sûreté.

Le champ d'exploitation est divisé en compartiments, ou *quartiers* séparés les uns des autres par de longs piliers de houille intacts. — Cette disposition permet d'aérer chaque partie par un courant particulier; et on choisit, pour alimenter le foyer, le compartiment qui contient le moins d'hydrogène proto-carboné. Les autres courants se rendent dans le puits à un niveau différent. — Les dispositions du foyer, les régulateurs, sont d'ailleurs les mêmes que dans la méthode précédente.

Calorifère de M. Cockerill.

Le maximum de température communiquée par les foyers d'aérage, dans les mines de houille de l'Angleterre et du nord de la France, est de 10 à 20 degrés centigrades au-dessus de la température ordinaire du courant d'air ascendant ; de sorte que la température du courant d'air chaud ascendant ne dépasse pas sensiblement 40 degrés centigrades.

La quantité de combustible brûlé sur un foyer d'aérage est sensiblement proportionnelle au produit de la masse totale d'air échauffé par l'action du foyer, par l'accroissement de température qui lui est communiqué. Ainsi, plus la température de l'air chauffé sera élevée, plus la dépense en combustible sera grande; et, pour augmenter d'une manière notable la force du courant ventilateur, il faudra porter la température de la colonne d'air chaud à un degré très-élevé ; et tout accroissement de température au-delà de 40 à 50 donne lieu à un accroissement presque nul dans la circulation, comme on peut le voir en jetant les yeux sur le tableau suivant.

Température de l'air ascendant en degrés centigrades.	Nombres proportionnels à la masse d'air qui sort dans l'unité de temps, ou à l'activité de la circulation.	Nombres proportionnels aux quantités de combustibles brûlés.
30	45	45
40	51	102
50	58	174
60	64	256
100	79	632

CHAPITRE VII.

EXTRACTION DES MINERAIS.

L'extraction des matières, c'est-à-dire le transport des minerais depuis le fond de la mine jusqu'au dépôt, n'est pas difficile ; mais les frais en sont considérables. Nous diviserons ce transport en trois séries :

La première comprendra le transport intérieur, à partir du

lieu où les matières ont été arrachées jusqu'au puits principal, ou l'embouchure d'une galerie.

La deuxième s'occupera de l'élévation des matières du fond du puits à son embouchure.

La troisième, enfin, traitera de la conduite extérieure depuis l'embouchure du puits ou de la galerie, jusqu'au lieu d'entrepôt.

SECTION PREMIÈRE.

DU TRANSPORT INTÉRIEUR.

Le transport peut se faire dans des galeries horizontales ou inclinées, dans des puits verticaux ou inclinés, par des hommes, des chevaux, des machines ou des canaux souterrains. Quand ce transport se fait par des hommes, ils portent le minerai, le tirent ou le poussent.

Du Transport par hommes.

Le transport qui se fait en portant est le plus dispendieux, on n'en fait usage que quand on ne peut faire autrement. C'est ainsi que dans certaines mines du Mexique, l'homme monte sur une échelle verticale, située dans le puits, chargé d'un sac attaché par des courroies, et dont le poids est de 25 kilogrammes. Dans quelques ardoisières de la Meuse, près Rocroy, on monte les ardoises à dos dans des sacs, ou, si elles sont façonnées, dans des hottes. Le poids est de 40 à 50 kilogrammes au plus, et l'inclinaison des échelles entre 25 et 45°. On porte aussi quelquefois le minerai sur les mains ou sur les bras, dans quelques mines sinueuses qui présentent des ressauts continuels. L'homme porte alors un petit panier qu'il appuie contre son ventre; mais ce mode de transport lui est pénible, il ne peut porter ainsi que 10 à 12 kilogrammes à la fois. Dans d'autres cas, l'homme porte sur les épaules et sur les bras à l'aide de bricolles. On emploie ce moyen dans les travaux de recherche. On se sert alors de civières, portées par des brides sur les épaules. La charge de cette civière, ou barelle, est de 80 à 100 kilogrammes pour deux hommes.

On préfère employer d'autres moyens, lorsque le sol de la mine le permet. On se sert alors avec avantage de brouettes, de traîneaux, charriots, chiens, etc., etc. La brouette la plus simple se compose de deux planches parallèles qui servent en même temps de côtés et de bras à la brouette : entre ces deux planches on en assemble deux autres, l'une en avant, l'autre en arrière; enfin, une troisième forme la plaque de fond. Mais

les bras de cette brouette doivent être très-courts, ce qui en rend la manœuvre plus difficile et la charge plus lourde sur les bras de l'homme. Toutefois, cette brouette est encore employée dans beaucoup de mines.

Dans le pays de Liège, les bras ont de 1 mètre 62 cent. à 2 mètres de long. On fixe sur ces bras des montants inclinés, sur lesquels on cloue des planches, devant, derrière, sur les côtés, puis, enfin, sur le fond. Cette construction est plus dispendieuse que l'autre, mais elle a l'avantage de reporter toute la charge sur la roue. Quand on transporte des matières légères, de la houille par exemple, l'inconvénient de cette brouette, c'est de causer beaucoup de déchet. Quelquefois on n'emploie qu'un train de brouette sur lequel on place une caisse mobile, contenant le minerai. Ce moyen est principalement employé pour la houille. Il permet d'élever la caisse au jour.

Des Traîneaux.

On a employé, dans les mines de Mons et de Valenciennes, et on emploie même encore aujourd'hui des traîneaux. Ces traîneaux se composent d'un cadre en bois sur lequel on place une caisse de forme ovale qui peut contenir 100 kilogrammes de houille. L'avantage de ce mode de transport est le même que celui de la caisse mobile. Dans les mines métalliques, on a quelquefois employé une caisse d'osier au lieu d'une en bois. Deux ouvriers étaient nécessaires pour la manœuvre de cette caisse; l'un tirait en avant, tandis que l'autre poussait derrière. Ce traîneau exigeait une force assez grande pour être transporté sur le sol, et même quand les galeries étaient trop sèches, on les humectait pour faciliter le glissement. On a depuis longtemps abandonné ce moyen.

Des Charriots.

Dans les mines métalliques, on fait usage d'un charriot appelé *chien*. Il consiste en une caisse rectangulaire portée sur quatre roues. Dans l'origine, il était muni en dessous d'un clou ou tige de fer verticale fixée invariablement sur le fond du charriot. Sur ce clou, on ajustait une poulie ou rouleau qui descendait au-dessous du sol entre deux traverses, séparées d'un intervalle un peu plus grand que le diamètre du rouleau. Ce rouleau sert à guider le chien, de manière qu'il suive toujours la rainure située entre les deux traverses parallèles. Le chien à clou a été longtemps en usage; mais on a reconnu que ce rouleau consommait inutilement une partie de la force.

L'avantage qu'il présentait, c'est qu'il suffisait de placer dans la galerie où il devait se mouvoir, deux pièces de bois étroites: le clou servait à maintenir continuellement les roues sur ces deux bandes.

Aujourd'hui, on préfère employer un plancher plus large et plus uni. Le charriot est de même muni de quatre roues, mais les deux de devant sont plus petites que celles de derrière. Ces roues sont tantôt dessous le charriot, tantôt en dehors. A l'arrière de la caisse est une poignée sur laquelle l'homme appuie la main droite en s'inclinant, et plaçant la gauche sur le bord de la caisse, de manière à ne faire porter le charriot que sur les deux roues de derrière. A l'aide de cette poignée et des deux roues de devant, il lui est facile de renverser le chien quand il est arrivé au puits de service. On porte environ 100 à 150 kilogrammes dans ces chiens. Comparant le travail des chiens sans clou avec celui des chiens à clou et des brouettes, on a trouvé qu'il fallait cinq hommes dans le premier cas, sept dans le second, et trois dans le troisième pour produire le même effet. Ces charriots, qui conviennent pour le transport de minerais pesants et en petit volume, ne peuvent plus être employés pour le transport de minerais légers et en grand volume. On se sert alors de charriots sur lesquels on place des caisses mobiles d'une plus grande dimension.

On emploie des chevaux dans les mines. Dans ce cas, ces animaux ne peuvent être employés pour porter à dos, mais seulement pour tirer des charriots ou des traîneaux. Les galeries doivent d'ailleurs être plus hautes et plus larges. Tous ces différents moyens peuvent être employés quand la galerie débouche au jour; mais lorsque le gîte du minerai est très-profond, on le transporte jusqu'à un puits vertical, d'où il est élevé à l'étage supérieur, à l'aide de caisses, par des treuils ou des machines à vapeur.

Quand on emploie des hommes pour le transport des minerais dans les galeries, il convient de les payer à la tâche.

SECTION II.

EXTRACTION DU FOND DES PUITS.

On emploie à cette extraction diverses machines, mues par les hommes, les chevaux, le vent ou la vapeur; mais leur disposition principale consiste en un treuil vertical ou horizontal sur lequel s'enroule un câble qui porte une benne. Les treuils mus par les hommes sont horizontaux; ceux mus par les chevaux sont verticaux.

Du Treuil horizontal.

Le treuil horizontal est un cylindre qui porte sur deux pivots; une seule corde ordinairement s'enroule autour, et porte, à chacune de ses extrémités, une benne destinée à recevoir le minerai. Plusieurs tours sont nécessaires, mais suffisent pour maintenir les deux bennes de chaque côté de l'arbre. Il faut aussi empêcher que la corde ne s'enroule sur elle-même. A cet effet, il convient d'employer un treuil assez long pour que l'une des bennes soit élevée du fond du puits, sans que la corde occupe toute la longueur de ce treuil. Quelquefois on emploie deux cordes séparées; dans ce cas, le treuil est partagé en deux par une cloison. Il n'a pas besoin non plus d'être aussi long que le précédent, parce que l'on peut faire enrouler la corde plusieurs fois sur elle-même; il en résulte que le diamètre augmente à mesure que la tonne s'élève, et que l'on tend ainsi à rendre moins inégal le moment de la résistance. D'autres fois, on fait usage d'un seul treuil et d'une seule corde; c'est dans le cas des puits très-étroits et très-profonds, où l'on ne peut faire passer deux bennes de front.

La deuxième espèce de treuil mû par les hommes, est le treuil à engrenage. L'avantage de cette disposition, malgré la résistance et le frottement qui sont plus grands, est de pouvoir se servir de treuils d'un plus grand diamètre, sans pour cela augmenter le nombre d'hommes employés à le mouvoir. L'avantage que l'on retire de cette augmentation dans le diamètre, est de diminuer la résistance provenant de la raideur du câble.

La troisième sorte de treuil mû par des hommes, est le treuil à chevilles, employé principalement dans les carrières. Ce treuil est muni d'une grande roue à chevilles sur lesquelles les ouvriers appuient leurs mains. Le treuil lui-même n'a que 27 centimètres de diamètre, mais la roue à chevilles a de 4 à 5 mètres. Le mouvement, dans ce cas, est très-lent; mais aussi le poids élevé est énorme. Un danger est ordinairement à craindre dans cette sorte de machine, c'est que l'un des hommes venant à suspendre ou à diminuer l'effet qu'il produit, le poids que l'on soulève ne devienne prépondérant et n'entraîne la roue en sens contraire. Mais on prévient cet inconvénient en plaçant sur le bout du treuil une roue à rochet, et avec un déclic sans cesse appliqué sur cette roue, on prévient ainsi tout accident qui pourrait avoir lieu.

Enfin, une dernière espèce de treuil, est le treuil à tympan. Ce treuil est partagé en deux parties, sur lesquelles viennent s'enrouler deux câbles; il est muni, à chacune de ses extrémités, d'un tambour dans lequel on fait marcher des hommes. Ces tambours engendrent de grands frottements et rendent le travail assez pénible.

Du Treuil vertical.

Les treuils mus par des chevaux sont avantageux à employer, parce qu'un cheval équivaut à 6,7 ou au moins 5 hommes, et coûte moins qu'eux. Ces machines sont en très-grand nombre; nous bornerons leur description à trois sortes.

Machine à molettes.

Elle tire ce nom de poulies de renvoi qui servent à ramener le cable dans l'axe du puits. Cette machine est d'une construction très-simple. Elle consiste en une ferme placée dans le plan vertical, passant par l'axe du puits. Cette ferme est composée de deux pièces principales inclinées sur le sol : elles sont retenues par deux moises plus hautes qu'épaisses, et qui sont traversées par des boulons à vis. Deux liens traversent ces moises et vont s'assembler au-dessus de la ferme avec une pièce verticale que l'on nomme aiguille; et pour rendre tout cet échafaud stable, on place des liens obliques. Au-dessous des moises se trouve fixée une pièce de bois retenue par des boulons. Dans cette pièce se trouve encastré un collier demi-cylindrique, qui sert à recevoir le tourillon de l'arbre du treuil, ou tambour. Au-dessous du tambour est fixée une traverse à laquelle on attache les palonniers. Le diamètre de ces petites machines est de 5 mètres; la hauteur de la moise est aussi de 5 à 6 mètres au plus.

Des Tambours.

Le tambour des machines à molettes est ordinairement cylindrique. Ce cylindre porte trois entailles dans lesquelles on place des cadres de bois. Aux extrémités de ces pièces, on assemble les jantes de manière à former une roue horizontale. Il ne reste plus alors qu'à fixer, dans toute la longueur de ces rouages, des planches étroites un peu courbes. On divise quelquefois le tambour en deux parties, et l'une d'elles est mobile autour de l'axe. L'avantage que l'on retire de cette disposition, c'est que lorsqu'on extrait le minerai, tantôt d'une profondeur tantôt d'une autre, il y aurait de l'inconvénient à laisser au cable la même longueur développée dans les deux cas.

Des Machines hydrauliques.

L'avantage que présentent les machines hydrauliques d'extraction, c'est qu'elles servent à enlever une grande quantité de matières en peu de temps. Les machines dont on fait usage sont: les roues à augets, les norias, les chapelets et les machines à colonne d'eau.

Des Machines à vapeur.

Dans les pays où le combustible est à bas prix, comme par exemple dans les districts houillers, les machines à vapeur offrent, sans contredit, les plus grands avantages. — Dans ce cas, une machine à vapeur doit satisfaire à deux conditions essentielles : 1° pouvoir alternativement faire tourner l'arbre moteur dans les deux sens; 2° imprimer à la benne d'extraction une vitesse à peu près uniforme.

Les machines à vapeur principalement employées dans les mines sont des machines à double effet, à cylindre vertical, dans lequel la vapeur agit à basse pression. — Dans quelques houillères, principalement dans les bassins de la Loire et de Saône-et-Loire, on fait usage, depuis quelques années, de machines également à double effet, mais à cylindre horizontal, dans lequel la vapeur agit à haute pression et sans condensation. — Elles sont de la force de 6, 8, 16 et même 20 chevaux. — Elles coûtent aujourd'hui de 1,200 à 1,500 fr. par force de cheval, y compris le tambour, les poulies, ainsi que toutes les ferrures nécessaires à la pose.

La consommation en combustible est un peu plus forte que pour les machines à basse pression : c'est environ de 10 à 15 kilogrammes par heure et par force de cheval. Le plus grand avantage qu'on leur reconnaît, c'est de ne consommer que peu d'eau, et de n'exiger que des constructions très-légères; en outre, elles sont d'une manœuvre facile.

Des Chaînes sans fin.

On a encore fait usage d'autres machines, dans lesquelles on se sert de chaînes sans fin. L'une d'elles consiste en deux chaînes sans fin, qui s'enroulent sur deux poulies placées sur le même plan. Ces deux chaînes sont tenues parallèles par des barres de fer horizontales, qui soutiennent les caisses d'extraction. L'inventeur de cette machine a proposé de rassembler tout le minerai à l'extrémité d'une galerie, et d'y placer une trémie. Quant la caisse approche de la trémie, un déclic la fait osciller, de manière que le minerai tombe dans

la caisse, et la remplit. L'ouvrier charge continuellement la trémie à la partie supérieure; les caisses se versent sur un plancher incliné. Ce mode d'extraction a été proposé pour des minerais de plomb.

Un autre moyen, quoique analogue au précédent, a été proposé pour l'extraction de la houille, qu'il importe de ne pas briser. Il consiste en deux grandes roues placées sur le même axe, et qui supportent deux chaînes sans fin. A côté sont deux roues dentées, qui engrènent dans deux pignons placés près du sol. Les chaînes sans fin sont de même maintenues parallèlement par des barres transversales, qui supportent des petites chaînes à crochets servant à soutenir les paniers dans lesquels on charge la houille. L'avantage de cette disposition c'est que, lorsque la tonne arrive au fond de la mine, à l'endroit du chargeage, l'ouvrier n'a qu'à saisir le crochet de la petite chaîne pour l'accrocher à la barre horizontale; puis, lorsque la tonne arrive au jour, un autre ouvrier décroche cette tonne et en attache une vide.

Des Compteurs.

Il importe, dans toutes ces machines d'extraction, de connaître le nombre de tonnes que l'on élève dans un temps donné. A cet effet, on emploie des compteurs qui font connaître en même temps la hauteur de la tonne dans le puits. Ces compteurs ont été depuis longtemps mis en usage dans les roues hydrauliques, pour calculer le nombre de tours qu'elles font dans un temps donné.

Des Cables.

Pour élever les tonnes de minerais du fond des puits, on se sert de chaînes, de cordes ou de cables. Les cables durent peu dans les puits où il tombe de l'eau. Les chaînes ont l'avantage de durer plus longtemps, mais elles entraînent avec elles un grand poids. Toutefois elles conviennent exclusivement pour des puits dont les parois sont obliques. Quand une chaîne vient à casser, elle cause ordinairement beaucoup de dégâts. Les cables cassent rarement sans qu'on prévienne leur rupture.

Les cables ou cordes dont on fait usage sont le plus souvent en chanvre: les cordes en cuir sont en usage dans les mines de fer de Suède, qui sont très-sèches. Ces cordes, dit-on, durent 10 ans. On fait aussi usage de cordes métalliques. Elles ont l'avantage de ne point s'allonger autant que celles

en chanvre. Elles se forment en tordant dans un sens chacun des fils qui doivent les composer, et tordant en sens contraire l'ensemble de tous les fils. De cette manière, les deux torsions réagissent l'une sur l'autre, et s'empêchent mutuellement de se détordre. Plus une corde est tordue, moins elle a de force, plus elle plie difficilement; la torsion est donc un défaut. La torsion raccourcit la corde d'un tiers; c'est ce qu'on appelle la commettre au tiers; il vaut mieux toutefois que la corde ne soit commise qu'au quart. Une corde trop peu tordue devient molle, s'empreigne de l'humidité et se détériore; trop tordue, elle occasionne la rupture de quelques fils.

Du Goudronnage.

Les cables doivent être goudronnés. En général, on se contente de leur faire subir cette préparation lorsqu'ils sont fabriqués; ce n'est que pour ceux de la marine, qui doivent être continuellement sous l'eau, que l'on goudronne chaque fil séparément. Le goudron se compose ordinairement d'une partie de poix, et de 6 de suif. Pour goudronner chaque fil, on les fait passer sur un dévidoir, d'où ils vont effleurer la gorge d'une poulie qui plonge dans le bain de goudron, et de là s'enrouler sur un second dévidoir. Lorsqu'on ne veut que goudronner la surface du cable, on le met en spirale dans un bain de goudron, et on ne l'y laisse qu'un instant. Mais le goudron, quoique presque nécessaire, est souvent désavantageux aux cordes; aussi ne doit-on goudronner les fils que de celles qui doivent plonger continuellement sous l'eau. Le goudron rend les cables moins forts; il écarte les fils, et diminue leur adhérence; il augmente le poids de 1/12. Des expériences qui ont été faites au sujet du goudronnage, tendraient à faire supprimer cette opération, si elle n'augmentait pas la durée des cables. Quand le diamètre du cable est assez considérable, on emplit le milieu d'une âme; c'est une sorte de bourre en chanvre; elle a l'inconvénient de ne donner aucune force au cable. Toutefois, ce remplissage est nécessaire pour éviter que le cable ne s'aplatisse, lorsqu'il s'enroule sur le treuil.

Le cable casse souvent près de la tonne, parce qu'en cet endroit il est toujours humide. Pour éviter cet inconvénient, on en coupe une longueur de quelques mètres à cette extrémité et on la remplace par une chaîne. Pour attacher le cable au crochet de la tonne ou de la chaîne, on est obligé de le plier;

on le fait passer dans un anneau ordinairement fort gros qui se termine par un crochet. On replie ainsi sur une longueur de 1 mètre ; puis on a des colliers de tôle que l'on place à la partie supérieure de ce repliage et que l'on serre contre le cable au moyen de clavettes. On se sert quelquefois de ficelles pour réunir au cable la partie repliée. On fait aussi usage, dans les mines, de cordes plates. Ces cordes sont composées de la réunion de quatre ou de six cordes ensemble, mais placées de manière que leurs torsions soient en sens contraire. Elles sont réunies par des fils qui les traversent obliquement. Ces cables plats ont l'avantage de permettre l'emploi de cordes très-peu tordues, de ne pas se détordre; en outre, ils ont celui de plier plus facilement sur les molettes, de durer plus longtemps, et d'élever un poids plus considérable; enfin, comme leur diamètre est moindre que celui des cables cylindriques, il y a moins d'inégalité dans leur tension. Pour les former, on réunit à côté les unes des autres les cordes qui doivent les composer, puis on les fait passer entre des cylindres qui les rapprochent.

Des Chaînes.

Dans les mines de Liège et dans quelques mines de France, on se sert de chaînes. C'est une mauvaise méthode que d'employer du fer carré dont on s'est contenté d'abattre les quatre pans. Presque toujours, dans ce cas, on a pris peu de soin pour le corroyer. La forme de chaînes qui convient le mieux pour les mines est la chaîne à mailles ovales; elle est en usage dans les mines de Valenciennes pour élever les tonnes des puits très-profonds. Cette chaîne se compose d'anneaux que l'on enchâsse l'un dans l'autre avant de les souder. Ces anneaux se forment en recourbant une barre de fer dans la proportion convenable : avec le marteau, on aplatit l'extrémité de la courbe de manière à former un biseau. On coupe ensuite l'autre branche à la hauteur nécessaire pour former la maille : on aplatit de même cette nouvelle extrémité et l'on en forme aussi un biseau, mais du côté opposé au premier. On prépare ainsi beaucoup d'anneaux et l'on amincit les extrémités de manière que toutes les mailles se touchent. Le grand diamètre extérieur de la maille n'est égal qu'à quatre fois la largeur de la barre; quant au petit, il n'équivaut qu'à trois fois à peu près l'épaisseur du fer. Chaque maille est introduite dans la précédente, portée au feu successivement, puis soudée. Une chaîne ainsi composée a un poids équivalent à quatre fois une barre

qui aurait la longueur de cette chaîne et l'épaisseur des anneaux. Une chaîne casse quelquefois sous la charge, ordinairement au départ de la tonne pleine. Lorsqu'il n'y a pas de défauts et que la chaîne casse, cet effet est dû au poids qu'elle a à supporter, et principalement au frottement qu'elle éprouve sur la molette. C'est ordinairement entre la molette et le tambour que la chaîne supporte la plus grande pression et que la rupture a lieu ; car, en cet endroit, elle porte toute la charge et en outre toute la force de tension entre la molette et le tambour. Une chaîne casse sur la molette quand elle a pris du jeu. Lorsque les mailles passent sur la molette, si elles étaient fort longues et qu'elles pussent se présenter librement dans un sens ou dans un autre, il pourrait se faire qu'en arrivant sur la molette, la maille se plaçât en travers, et fût tirée selon son petit axe ; c'est ce qui arrive dans les vieilles chaînes : il se fait alors une descente de la tonne qu'on élève, égale à la différence du grand axe au petit ; mais cette secousse est considérable à cause du poids soulevé, et occasionne presque toujours la rupture de la chaîne à l'endroit où la maille a quitté sa première position. Les mailles, en raison du frottement qu'elles éprouvent, s'usent plus promptement vers le milieu de leur longueur lorsqu'elles viennent s'enrouler sur un tambour ; le contraire a lieu dans les chaînes qui supportent les tiges des pompes ; les mailles s'usent plus promptement vers leurs extrémités et sont plus sujettes à casser dans ces parties ; aussi leur donne-t-on plus d'épaisseur de métal dans ces endroits que dans les autres. On doit souvent visiter les chaînes avec soin, surtout quand les ouvriers descendent dans la mine sur les tonnes.

Des Bennes et Tonnes.

Pour contenir les minerais, on se sert, dans quelques mines d'Allemagne, de sacs en cuir faits de plusieurs peaux de bœuf réunies ensemble : ils contiennent de 6 à 9 quintaux. On trouve ce moyen plus avantageux que les tonnes ; mais il ne peut être mis en usage que dans les puits larges et verticaux, pour que les sacs ne frottent pas contre les parois. Les tonnes sont de formes différentes : quelquefois elles ont la forme de tonneaux renflés vers leur milieu. Quand elles servent à élever du minerai, elles ont la forme conique.

Transport à la surface du sol.

Quand le minerai est hors de la mine, on le transporte sou-

vent par le même moyen que celui des galeries; mais quand le minerai est élevé au haut du puits avec des tonnes, il faut décrocher la tonne. A l'ordinaire on la reçoit sur le bord du puits; quand elle est élevée au-dessus de l'orifice, l'ouvrier pousse une pièce de bois, on arrête la machine et l'on fait poser la tonne sur la poutre : l'ouvrier la fait tomber sur le plancher qu'on a placé à cet effet. Cette chute ne vide pas la tonne entièrement; mais il y a au-dessous un anneau auquel on attache la chaîne du cable : la tonne s'élève et se renverse. Dans quelques mines il y a un plancher mobile glissant à roulettes; on descend la tonne sur le plancher, et les hommes la tirent eux-mêmes hors du puits; on la vide aisément en la renversant. Dans les mines de Freyberg, où le minerai est élevé dans des caisses, elles glissent sur des pièces de bois. Le puits est incliné : quand la caisse est à la hauteur voulue, on l'arrête et on la fait reposer sur un support, elle tourne sur un axe et se vide d'elle-même. Quand on extrait de la houille et que l'on a intérêt de séparer les gros morceaux du menu, on place une grille dont les barreaux sont plus ou moins rapprochés et sur laquelle on verse la tonne. Tout le menu passe à travers la grille.

CHAPITRE VIII.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS.

Les substances métalliques subissent plusieurs préparations avant d'être fondues et réduites en métal; ces diverses préparations constituent trois opérations principales :

1° Le *triage*, qui consiste à nettoyer, à casser, à choisir à la main et à cribler.

2° Le *bocardage*, qui consiste à réduire en poussière fine et à laisser déposer dans l'eau de plusieurs réservoirs.

3° Le *lavage*, qui a pour objet d'enlever les parties métalliques de la vase dans laquelle elles sont engagées, et de séparer la poussière d'un métal de la poussière du sable ou d'autres métaux. Cette opération du lavage est très-importante; elle est tellement efficace, que l'on parvient à retirer $^1/_{5000}$ en poids d'or, des matières dans lesquelles il se trouve engagé, et en volume le $^1/_{5000000}$; résultat auquel la métallurgie ne pourrait jamais arriver.

Toutes ces opérations ne s'exécutent pas sur la même sub-

stance; les unes n'ont besoin que d'être triées; les autres d'être triées et bocardées; d'autres seulement d'être lavées.

C'est à celui qui est chargé de ces opérations à savoir reconnaître, à la nature des substances, quelle est l'opération qui leur convient, et quels sont les métaux qu'il faut mélanger ou séparer. En sortant de la mine, on fait un premier triage grossier. En général, il faut mettre à part les métaux vierges, tels que l'or, l'argent, le cuivre natifs. Il faut mettre à part les minerais précieux, l'argent sulfuré, l'argent antimonié; les minerais de plomb, vert, rouge et blanc; les cuivres verts ou bleus : on les sépare des pyrites sulfureuses, ferrugineuses et arsenicales que l'on grille. Il faut séparer l'étain du fer, le fer du cuivre, parce que ces métaux se nuisent réciproquement pendant la fusion. Il faut séparer les minerais de plomb des pyrites, des blendes et des calamines. La séparation du fer d'avec l'étain n'est pas facile à opérer par le lavage; car ces deux métaux sont égaux en densité. Pour l'effectuer aisément, on commence par griller le minerai et l'on fait suivre ce grillage d'un lavage. Le fer qui s'est oxidé a acquis une pesanteur moindre que l'étain, et en est facilement séparé. Certains minerais de plomb, par ce même procédé, se séparent de minerais de cuivre.

SECTION PREMIÈRE.

DU TRIAGE.

Le triage se subdivise en quatre sortes d'opérations :

Dans la première on nettoie le minerai, on en sépare la boue grossière qui l'enveloppe. Cette opération a été nommée dans quelques mines *débourbage*.

Dans la seconde on brise ou on broie les minerais pour séparer ce qui est métal d'avec les parties stériles;

Dans la troisième on fait le triage à la main; on met à part les morceaux plus ou moins riches;

Dans la quatrième, enfin, on crible le minerai ainsi séparé.

1° *Débourbage*.

Le débourbage peut se faire différemment. Dans les mines où on extrait le minerai par une galerie d'écoulement, cette opération se fait au sortir de la mine. On renverse les brouettes dans le courant d'eau, et on remue le minerai avec un râble ou une pelle, et l'on peut déjà séparer le minerai pur et massif. Dans les mines où l'on extrait le minerai par un puits, et où l'on n'a pas de ruisseau pour faire ce premier dé-

bourbage, on lave le minerai dans une auge en bois dans laquelle on fait arriver un filet d'eau. Les eaux de cette caisse sont reçues dans une seconde pour y déposer les parties métallifères. Une troisième manière de débourber les minerais, consiste dans un lavage plus complet que ceux dont nous venons de parler. Il est usité dans quelques mines de fer et de calamine : on l'appelle lavoir à gradins. C'est un encaissement en bois, ou en pierre, de forme quarrée ou rectangulaire : sa profondeur n'est quelquefois que de 2 à 3 décimètres ; il a 1 mètre à 1 mètre 1/2 de côté. On fait arriver, par une des extrémités, un courant d'eau ; à l'autre est une bonde qui ferme un petit canal communiquant à un second encaissement qui reçoit les eaux du premier. On apporte le minerai sur le bord, on l'amène peu à peu avec le râble au courant d'eau. Cette opération est répétée quatre ou six fois ; la vase est entraînée dans le second réservoir. Cette sorte de lavoir convient très-bien pour les minerais de plomb sulfuré, mélangés dans une gangue argileuse ou de fer limoneux.

Une autre manière de débourber le minerai est employée avec avantage dans quelques mines de fer : elle consiste dans le *patouillet*. Le patouillet des mines de fer se compose d'un arbre horizontal auquel on imprime un mouvement rotatoire au moyen d'une roue hydraulique placée sur le prolongement. Cet arbre est muni de bras en fer ordinairement au nombre de trois. Ces bras pénètrent dans une caisse en bois, dans laquelle on met le minerai. On charge jusqu'au tiers, et quand le minerai est fin, jusqu'aux deux tiers des bras. L'eau arrive continuellement dans la bâche : en imprimant le mouvement au patouillet, le minerai se trouve nettoyé, et la vase, entraînée par l'eau, sort par une ouverture que l'on ouvre ou que l'on ferme au moyen d'une vanne. Ce mode de débourbage est économique.

Un moyen semblable est employé dans les mines de cuivre de la Hesse ; seulement, l'arbre, au lieu d'être horizontal, est vertical. Cet arbre est mû par un engrenage et traverse une sorte de cuve ou bassin que l'on peut élever ou abaisser à volonté : la partie supérieure porte ordinairement quatre bras armés de dents, comme un râteau, qui plongent dans la caisse. Le minerai que l'on charge est un cuivre sulfuré, disséminé dans des schistes argileux. En imprimant le mouvement à l'arbre, les dents agitent le mélange, débarrassent les parties métalliques des vases qui les retiennent, et celles-ci ainsi dégagées

tombent au fond de la cuve. En abaissant successivement cette cuve, on n'agite pas ces premiers dépôts, mais seulement ce qui est au-dessus et qui n'est pas encore débourbé. On forme ainsi une suite de dépôts qui sont d'autant moins riches qu'ils s'éloignent plus du fond.

Dans les mines de Chessy (nous avons représenté *Pl.* XXVII, *fig.* 23, le gîte de cuivre de Chessy, aujourd'hui épuisé), on avait imaginé un nouveau moyen de débourber le minerai de cuivre carbonaté bleu que l'on y exploite. Il consiste en un tonneau formé de douves en bois ou en fer, qui laissent entre elles l'intervalle de 14 millimètres environ. La longueur de ce cylindre ou tonneau est de 1 mètre 70 centimètres, son diamètre 1 mètre 80 centimètres. Les deux bases sont fermées par des portes, pour charger et vider le tonneau. On réunit l'axe à l'arbre d'une roue hydraulique, qui lui imprime le mouvement de rotation. Cet axe est porté sur des coussinets qui ne sont pas fixes, mais placés dans un châssis rectangulaire, susceptible de se mouvoir dans un plan vertical, en tournant sur un axe horizontal, ce qui permet de placer le tonneau dans une position inclinée ou verticale pour le charger ou pour le vider. Ce tonneau plonge dans un encaissement rempli d'eau un peu au-dessous de son centre : au-dessous est une grille suspendue par des bouts de chaîne aux tourillons. Cette grille, dont les barreaux sont plus rapprochés que les douves du tonneau, reçoit un mouvement d'oscillation pendant que le tonneau en reçoit un de rotation. Au-dessous est un encaissement dans le sol; l'eau en sort par une grille qui ne laisse passer que la vase. On charge par l'un des bouts environ 7 à 800 kilogrammes, on ferme la porte et on donne le mouvement. Ce débourbage dure un quart-d'heure; mais il faut un quart-d'heure pour charger, puis un quart-d'heure pour séparer, en sorte que l'opération entière dure trois quarts-d'heure.

2° *Cassage.*

Après le débourbage vient le cassage. Ce cassage, qui est nécessaire pour séparer les gangues, peut se faire ou à l'aide d'un marteau ou d'une masse plate, ou bien avec un martinet, ou enfin sous les pilons d'un bocard. Le cassage au marteau est simple. Si le minerai a peu de valeur, il se fait à l'air. Les ouvriers sont à terre et ont entre leurs jambes une masse de pierre ou de fer, sur laquelle ils appuient les morceaux qu'ils veulent casser. Le marteau dont ils font usage pèse un demi-kilogramme. Si le minerai est plus précieux, le cassage se fait

sous un hangar; les ouvriers sont appuyés sur des bancs, et ont devant eux une table solide sur laquelle ils cassent les morceaux de minerai. Ils font en même temps le triage à la main; ils mettent à part les minerais riches, ceux qui doivent être envoyés au bocard et les rebuts. Quand le minerai est très-précieux, comme l'or ou l'argent, les ouvriers sont dans des loges ou huttes particulières qui doivent être planchéiées avec soin, pour ne rien perdre de ce qui peut éclater sous le marteau. Ils sont tenus de secouer leurs habits en sortant pour faire tomber les parties de minerais qui auraient pu s'y attacher. Ces huttes doivent être placées près du puits d'extraction et être bien éclairées et assez spacieuses pour que les poussières n'incommodent pas les ouvriers. Chacun d'eux, ou chaque société, lorsqu'ils travaillent plusieurs ensemble, a un coffre fermant à clef, afin que l'on puisse distinguer le travail de chacun. On se sert aussi de masses plates pour broyer des morceaux assez volumineux. Quelquefois on emploie le martinet. Il diffère peu de celui des forges : c'est un marteau de 100 à 150 kilogrammes, porté aux deux tiers de sa longueur. Il est élevé par pression sur la queue. L'enclume est large et enterrée. Quant au cassage qui a lieu sous les pilons, il constitue l'emploi des bocards, dont nous parlerons un peu plus bas.

3° *Triage à la main.*

La troisième opération est le triage à la main. Il suit et même souvent accompagne le cassage. Les ouvriers chargés de ce triage font des tas de minerai massif, l'un de gros morceaux, l'autre de menus; un second tas de minerai à cribler, et un troisième tas de rebut : ce dernier est divisé en deux autres, l'un de minerai que l'on envoie au bocard, l'autre de ce que l'on jette tout-à-fait.

4° *Criblage.*

La quatrième et dernière opération est le criblage. Il s'exécute sur des minerais sortant de la mine en petits grains, sur d'anciens déblais de mines, sur des minerais nettoyés au patouillet, ou sur des minerais cassés et triés. Il peut se faire aussi en employant une claie en fil-de-fer ou en osier, un panier d'osier, l'égrappoir, enfin le crible proprement dit et la cuve.

La claie est en usage dans les mines de fer, lorsque le minerai métallique est fin et mêlé à de gros morceaux de gangue. La distance des brins d'osier est de 8 à 10 décimètres. La claie est inclinée et soutenue par un chevalet; elle est



munie au milieu d'une pièce de bois, sur laquelle l'ouvrier frappe son rable pour la débarrasser. Les parties métalliques passent ordinairement derrière; les pierres restent en avant.

Le panier dont on se sert est en osier, avec une anse du même bois. Il a 2 à 3 décimètres de diamètre sur 1 de profondeur: il sert pour les minerais déjà nettoyés et débarrassés de leurs terres par le patouillet. On suspend ce panier dans l'eau, et l'on agite par petites secousses. Le minerai fin passe à travers les interstices du panier; l'eau entraîne les terres, et la gangue reste. Dans quelques mines de plomb, on se sert d'une chaudière en cuivre battu, ou en fer battu, ou en fonte, quelquefois, que l'on appelle *égrappoir*. Ce nom vient de ce que dans certains endroits le minerai est appelé *grappe*. Cette chaudière, qui a 5 décimètres de diamètre, est percée dans toute sa surface de trous ronds proportionnés aux morceaux qui doivent passer au travers. L'anse de cet instrument présente un petit crochet dans lequel vient s'adapter une tige, sur laquelle s'assemble une longue perche, qui repose sur un chevalet. Au moyen de ce mécanisme, on imprime de petites secousses à l'égrappoir qui est maintenu sous l'eau.

Le crible proprement dit est en usage dans les mines autres que celles de fer. La forme en est cylindrique; les rebords sont en bois mince, ils ont 15 à 20 centimètres de hauteur. Le fond du crible est ordinairement une toile de métal, dont les mailles ont depuis 1 jusqu'à 5 millimètres de largeur. Le plus souvent, on crible dans l'eau. Ce criblage a un avantage très-remarquable, c'est que l'on sépare les minerais par différence de pesanteur spécifique. On a un cuveau ordinairement de 1 mètre de hauteur: il est muni de trois bondes, l'une au bas, l'autre en haut, et la troisième au milieu. L'eau peut dégorger continuellement par une entaille ménagée à la partie supérieure du cuveau. En arrière est une table sur laquelle on apporte le minerai. L'ouvrier armé d'un râble, fait descendre le minerai dans le crible: au moyen de deux poignées dont il est muni, il le place sous l'eau et le fait osciller. L'eau arrive continuellement dans la cuve, et y entretient un niveau constant. Le premier effet de l'eau est de débourber le minerai, d'enlever les parties terreuses les plus ténues; ensuite les parties de minerai les plus fines passent à travers les interstices du crible, et tombent au fond du cuveau; enfin les parties plus grosses que les mailles restent dans le crible, où elles se séparent par couches, selon

les différences de pesanteur spécifique, et par conséquent de richesse. Ce qui est plus lourd et plus riche se dépose au fond du crible. La couche immédiatement au-dessus est un mélange de minerai pur et impur; enfin, la couche tout-à-fait supérieure est ordinairement du rebut. L'ouvrier retire le crible de l'eau, et enlève la première couche à l'aide d'une palette, la seconde est repassée au crible; enfin la troisième est séparée en trois tas, l'un de minerais riches que l'on envoie à la fonderie, l'autre de minerais disséminés que l'on envoie au lavage, et le troisième de gros morceaux, que l'on envoie au bocard. Quant aux sables tombés au fond du cuveau, ils sont envoyés au lavoir. Si le minerai est pauvre, et qu'après avoir enlevé les pierres de dessus le crible, il ne reste pas beaucoup de minerais disséminés, on ajoute du minerai et l'on continue. Pour achever cette opération, après le premier criblage, il y a un casseur qui recasse le minerai passé et le rend au cribleur, pour être criblé de nouveau, en sorte que les travaux de ces deux hommes se correspondent.

Quand le minerai doit subir plusieurs fois cette opération du criblage, on peut la simplifier au moyen de machines composées. Les meilleures pour opérer ce genre de travail, sont les grilles dites anglaises, et les grilles à gradins, les cribles à bascule ou cylindriques. La grille anglaise est formée de barreaux de fer qui laissent entre eux un intervalle de 8 millimètres. Ces barreaux ont 25 millimètres de largeur sur 14 d'épaisseur. La grille a 1 mètre quarré de surface, et elle est placée au milieu d'un plancher qui a 2 mètres quarrés de surface; elle est élevée au-dessus du sol par deux petits murs qui ont 6 décimètres de hauteur. Un canal longitudinal règne au-dessus de toutes les grilles et amène l'eau au moyen d'un tuyau placé au-dessus de chacune d'une hauteur de 1 mètre 65 centimètres à 2 mètres. Quatre enfants font le service d'une grille. On dépose sur l'un des côtés du plancher, une charge de minerais de 600 kilogrammes, puis on l'attire sur la grille, et on lave au moyen de l'eau qui tombe continuellement. Tout ce qui est plus petit que les interstices de la grille se dépose au-dessous; les poussières plus fines sont entraînées plus loin; enfin la vase va au labyrinthe. Ce lavage effectué, on fait un triage de ce qui est resté sur la grille. On forme plusieurs tas: un premier de minerais massifs, un second de minerais médiocres, un troisième de minerais qu'il faut casser, un quatrième de minerais disséminés ou à bocard, un cinquième, enfin, de rebuts.

Les morceaux qui, n'étant pas assez gros pour rester sur la grille, mais pas assez fins pour passer à travers, sont restés engagés dans les barreaux de la grille, forment ce qu'on appelle la *menuaille*. On la retire avec soin, et on l'envoie au crible à la cuve. On en obtient quatre produits : des rebuts, du minerai à bocard, du minerai médiocre, du minerai massif; c'est le dépôt qui est resté au fond du crible. Les sables qui sont tombés au fond du cuveau, sont, en raison de la grosseur du crible, envoyés au bocard. La poussière qui s'est déposée au-dessous de la grille est criblée dans un crible beaucoup plus fin que celui pour la menuaille. On en obtient cinq espèces de produits, Le minerai médiocre, obtenu d'abord, est envoyé au lavage, qui donne encore quatre tas différents.

Ce lavage exige une grande quantité d'eau. En général, il faut presque 6 kilogrammes d'eau pour 1 kilogramme de minerai. La charge de deux bassicots, c'est-à-dire 600 kilogrammes, exige, pour être lavée, 25 à 30 minutes. On partage chaque bassicot en huit tas; le lavage de chacun de ces huitièmes ne demande que deux minutes. Ce travail exige de l'adresse et de l'activité.

En Saxe, on a imaginé de placer ces grilles en gradins, les unes au-dessus des autres. Elles sont ordinairement au nombre de trois : l'intervalle des barreaux, dans la première, est de 27 millimètres; dans la seconde, de 13 millimètres; dans la troisième, de 7 millimètres. On jette le minerai sur le plan incliné qui est au-dessus de la première grille, on l'attire dessus avec un râble, et on fait arriver un courant d'eau. Ce qui passe à travers les barreaux de celle-ci se rend sur la seconde, et ainsi de suite, sur la troisième. On obtient ainsi trois produits que l'on subdivise, au niveau de chaque grille, en rebuts, en minerais de bocard, en minerais médiocres et en massifs. Le minerai médiocre est lui-même subdivisé en trois tas. Ce qui a passé par les trois grilles est emporté par l'eau dans une caisse pour être criblé.

On a encore imaginé d'autres machines dans la vue d'économiser les frais de main-d'œuvre occasionés par les opérations. On fait usage, dans les mines de Saxe, d'un crible cylindrique qui a 6 ou 7 décimètres de longueur sur 5 à 6 de diamètre. Il est porté sur un axe horizontal, que l'on fait tourner par un moyen quelconque, soit à la main, soit à l'aide d'un engrenage. On introduit du minerai par une porte en bois : ce minerai y arrive par une trémie. Lorsque le crible

est rempli, on fait arriver l'eau continuellement dans la caisse. Cette machine ressemble au patouillet employé pour débourber les minerais de fer.

On a imaginé un crible à gradin et à bascule; il consiste en une caisse rectangulaire ouverte à la partie supérieure, et par un bout. Cette caisse présente trois gradins; au bas est une ouverture fermée par une grille. Un tuyau sert à conduire les boues dans une caisse inférieure, qui présente trois grilles dans sa longueur et trois tuyaux qui conduisent le minerai dans un encaissement inférieur. Ces caisses peuvent osciller au moyen de tringles, mais elles se meuvent en sens contraire l'une de l'autre.

Tous ces moyens mécaniques de trier le minerai demandent le secours d'un crible à secousses.

SECTION II.

DU BOCARDAGE.

L'art de bocarder les minerais, c'est-à-dire de les réduire en poudre ténue pour séparer ainsi la gangue qu'ils contiennent, ne date pas, à ce qu'il paraît, de loin. C'est vers le sixième siècle que les minerais ont été bocardés pour la première fois.

Un bocard se compose : d'une auge dans laquelle on jette les minerais à écraser, et dans laquelle on fait battre des masses; de pilons qui jouent dans l'auge; d'un arbre armé de cammes pour soulever les pilons; enfin, de bassins successifs remplis d'eau, dans lesquels on fait arriver et déposer les poussières qui sortent de dessous les pilons.

De l'Auge.

Pour former l'auge du bocard, on commence ordinairement par creuser dans le sol une fosse de 1 mètre 65 centimètres de profondeur sur 5 mètres de long et 2 mètres de large; au fond de cette fosse, on place 33 centimètres d'argile ou de glaise; on établit ensuite aux deux bouts, et au milieu de cette fosse, 3 pièces de bois transversales (nous considérons ici le cas d'une auge à deux batteries); puis, sur ces traverses on élève deux montants verticaux qui s'élèvent jusqu'au niveau du sol : la distance de ces montants est d'environ 65 centimètres. En arrière de ces pièces, on attache deux arcs-boutants destinés à les maintenir dans la position verticale.

Une fois ces fermes ainsi établies, on place 4 pièces de bois pour garnir les deux extrémités de l'auge. On forme ainsi

une auge rectangulaire dont toutes les pièces se tiennent d'elles-mêmes. Cela fait, l'intervalle se trouve réduit à la largeur de 65 centimètres, les pièces de bois ayant 16 centimètres d'épaisseur. On bouche exactement les joints avec de la mousse. On ajoute ensuite, dans l'intérieur, d'autres madriers, qui ont aussi une épaisseur de 16 centimètres, ce qui réduit la largeur à 33 centimètres; puis, sur le fond, on place une pièce de bois qui a 33 centimètres d'équarrissage, qui repose sur les trois pièces fondamentales, et qui sert de fond à l'auge. Enfin, sur cette poutre on élève trois colonnes, une à chaque extrémité et la troisième au milieu. Ces colonnes ont environ 5 mètres de hauteur, et sont fixées par des boulons de fer avec l'auge. Pour consolider cet assemblage, on tasse de la pierre, quel'on a écrasée. Il reste au-dessus de ce fond 33 centimètres environ. Outre les boulons de fer et la pierre, dont nous avons parlé, on se sert encore, pour maintenir les colonnes, de deux pièces qui embrassent le pied de ces colonnes à fleur de terre. Ces pièces sont entaillées sur la face verticale, de manière à pouvoir s'accrocher sur la colonne du milieu; elles portent aussi une entaille en-dessous pour s'adapter sur les deux montants verticaux. Les trois colonnes partagent l'auge en deux compartiments que l'on nomme batteries. Ces colonnes présentent, dans leur longueur, des entailles dans lesquelles viennent s'assembler des pièces plates dites moises. C'est entre deux colonnes et les moises que jouent les pilons.

Des Pilons.

Les pilons sont formés en bois de hêtre, de chêne ou de mélèze : ils ont une longueur de 4 mètres sur 13 centimètres de largeur et 16 d'épaisseur; ils se terminent par une masse en fonte rectangulaire : l'assemblage avec la flèche du pilon se fait au moyen d'une partie cylindrique cannelée, soit horizontalement, soit en biais, comme un pas de vis, et qui entre dans le bois, où elle est fixée invariablement. Pour empêcher les pilons de s'incliner à droite ou à gauche, les flèches sont traversées de chevilles qui les séparent les unes des autres.

De l'arbre à Cammes.

Le pilon ainsi formé est percé d'une mortaise dans laquelle on place le mentonnet qui doit servir à le soulever. C'est une pièce de bois qui est rectangulaire, et qui a 65 centimètres de longueur. La mortaise dans laquelle entre cette

pièce a une hauteur plus grande que le tenon ; l'intervalle restant est rempli avec un coin de bois, qui permet de faire varier à volonté la hauteur du mentonnet ; par là on augmente ou on diminue la durée du temps pendant lequel le pilon est soulevé. Quand un même arbre fait marcher plusieurs batteries de pilons, et que l'on veut en faire cesser un de jouer, on le soulève de manière à soustraire le mentonnet à l'action de la camme. Cette opération s'exécute au moyen d'un treuil.

Les cammes qui soulèvent le mentonnet doivent être distribuées dans un certain ordre sur l'arbre de la roue qui les fait mouvoir, et qui est ordinairement une roue hydraulique. En général, le même pilon est levé trois fois pour une révolution de l'arbre, c'est-à-dire que 3 cammes devront être sur une même circonférence ; quelquefois, mais rarement, on en place quatre, il y a donc trois fois autant de cammes que de pilons ; ainsi, pour deux batteries à cinq pilons, il y aura 30 cammes. Pour placer ces cammes convenablement, on commence par tracer sur la partie cylindrique de l'arbre des cercles correspondant à l'axe des pilons. On divise le premier cercle en autant de parties égales qu'il doit y avoir de cammes ; puis, par chaque division, on tire des lignes parallèles à l'axe, qui vont répéter autant de divisions dans les autres cercles. On choisit ensuite la première intersection, pour placer la camme qui soulèvera le premier pilon de la première batterie ; à 120° plus loin on place la seconde camme, et à 120° plus loin encore la troisième. Ainsi, la première camme sera placée sur l'intersection 1, la seconde sur l'intersection 11, la troisième sur celle 21. Le second pilon qui doit être soulevé après le premier, n'est pas le second par ordre, mais le premier de la seconde batterie. La première camme devra être placée sur la parallèle 2, la seconde sur la parallèle 12, la troisième sur celle 22. S'il y avait trois batteries, le premier pilon qui devrait se lever après les deux précédents, serait le premier de la troisième batterie : la première camme serait placée sur la parallèle 3, et ainsi de suite.

Des Cammes.

Les cammes dont on fait usage ordinairement, sont implantées sur l'arbre ; ce sont des cammes en bois arrondi ; quand la levée doit être courte, on les forme en fer et on leur donne une grande courbure. Enfin, on a encore proposé d'employer des cammes en fonte dont la courbure est le développement du cercle. L'avantage que présente cette disposition, c'est que

lorsque l'arbre se meut avec une vitesse uniforme, le pilon est soulevé lui-même avec une vitesse uniforme, ce qui peut être avantageux dans certains cas; toutefois, l'inconvénient est que le pilon est obligé de prendre, dès le premier instant, toute la vitesse que doit lui donner la machine, tandis qu'il vaut mieux que cette vitesse aille en croissant depuis zéro.

Méthodes pour faire sortir les minerais du bocard.

L'eau nécessaire arrive et sort continuellement, en entraînant le minerai bocardé. Il y a plusieurs manières de faire sortir l'eau du bocard. La plus ancienne méthode est celle dite *à la bonde*, qui consiste en un trou circulaire que l'on peut boucher plus ou moins à l'aide d'une bonde. Quand il y a trois pilons, l'eau arrive par un extrême, d'où elle se rend successivement dans les deux autres. Quand le bocard est à 5 pilons, il arrive souvent que l'on fait tomber le minerai sous le pilon du milieu, d'où il est rejeté à droite et à gauche, pour être bocardé de nouveau par les pilons d'aide; l'eau sort alors par les deux extrémités qui sont munies de bondes.

La seconde méthode consiste à faire passer le minerai qui sort de dessous les pilons, à travers une grille placée en avant, au moyen de laquelle les morceaux trop gros pour les interstices des barreaux sont rejetés sous le pilon. Cependant on a remarqué que cette grille ainsi placée du côté où sort le minerai, est sujette à être forcée et à se déformer lorsque la gangue vient se placer entre elle et le pilon. Cette seconde méthode est dite *à la grille*. La troisième méthode est dite *à la fente*. Elle est appréciée dans beaucoup de mines, où on la préfère à toute autre. Plus la fente est élevée, plus le sable obtenu est fin. Elle convient mieux pour les minerais d'argent; la grille, pour les minerais de plomb. Lorsqu'on emploie cette dernière méthode, on ne place qu'une seule grille et à l'extrémité opposée de l'endroit où l'on jette le minerai.

Des Bassins.

L'eau et les minerais réduits en poussière qu'elle entraîne, se rendent dans une suite de canaux ou bassins successifs, placés les uns au-dessous des autres de toute leur hauteur. Ces canaux et ces bassins vont en diminuant de grandeur, et en augmentant de pente. Ordinairement on dispose six bassins en cascade à la suite les uns des autres. Le premier, celui qui est le plus près du bocard, a une longueur de 4 mètres et une pente totale de 55 à 80 millimètres. Le second bassin, qui

est appelé bassin du gros sable, a une longueur de 5 mètres, et une pente totale de 27 millimètres. Le troisième, du sable fin, a une longueur de 8 mètres et une pente totale seulement de 13 à 14 millimètres. Le quatrième est appelé bassin des grosses bourbes; il a à peu près la même longueur et la même pente que le précédent. Enfin viennent deux autres bassins pour les bourbes fines, et qui n'ont aucune pente; leur longueur est de 3 à 5 mètres. Les largeurs et profondeurs de ces bassins sont aussi très-différentes; elles vont en augmentant à partir du premier. Celui-ci n'a que $0^m,25$ de de largeur sur autant de profondeur. Les trois suivants ont $0^m,32$ de largeur et de profondeur. Enfin les deux derniers ont $0^m,32$ de profondeur, et une largeur un peu plus considérable, de $0^m,44$. L'eau qui sort du dernier bassin va se jeter dans un vaste canal où elle n'a aucun mouvement. Il faut que chaque bassin conserve toujours la même pente, et malgré les dépôts qui s'y forment; à cet effet, on se sert de tringles qui permettent de les élever suivant qu'il est nécessaire. Pour retenir les bourbes et empêcher qu'elles ne se rendent d'un bassin dans le suivant, on place des liteaux qui ont de 27 à 54 millimètres de hauteur. Les bocards sont ordinairement renfermés dans des bâtiments. Ce n'est que dans les petites exploitations, et où l'on ne travaille que pendant l'été, qu'on établit des bocardages à l'air libre. Il y a même souvent, dans le bâtiment, plusieurs tables à laver pour dégrossir le minerai. En général, les bassins sont découverts; il y a cependant certains cas où il est nécessaire de les couvrir.

De la résistance à vaincre.

Avant d'exposer la manœuvre du bocardage, disons quelques mots sur la résistance à vaincre dans cette machine et sur les effets qu'elle produit. Il est évident que la résistance à vaincre est due au frottement des pilons, à celui des tourillons sur leurs axes, enfin, à celui des mentonnets. Si le mouvement de rotation de l'arbre est uniforme, le pilon n'est pas élevé avec une vitesse uniforme, mais en rapport avec les sinus des arcs décrits. Il commence à se mouvoir avec le maximum de vitesse et va en diminuant. On corrige cet inconvénient, quand, au lieu de la forme rectangulaire, on donne à la camme la forme d'un demi-cylindre. Ce qui importe, ce n'est pas de rendre uniforme le moment de la résistance, mais de rendre constante la somme des

moments de tous les pilons levés en même temps. La forme ordinaire des cammes, la manière dont elles agissent sur les mentonnets, donnent lieu à deux pressions sur les prisons (moises qui maintiennent les flèches dans la verticale). Ces pressions, et les frottements qui en résultent, sont en raison directe de la longueur du mentonnet, et en raison inverse de la distance des prisons. Ce que l'on peut donc faire dans la construction des pilons, c'est de rendre la plus petite possible la longueur du mentonnet, et d'éloigner le plus possible la distance des prisons. On a proposé de rendre le frottement nul, en pratiquant dans le pilon une échancrure dans laquelle on placerait un prisme en acier, de manière que la camme soulevât le pilon suivant son axe.

Effets du Bocardage.

L'effet du bocardage est de broyer le minerai en poudre fine, et l'on peut dire que cet effet est proportionnel au produit de la masse par la vitesse, c'est-à-dire le choc. Si l'on augmente ou si l'on diminue la masse ou la vitesse des pilons, la finesse ou la quantité des matières broyées augmentera ou diminuera dans le même rapport. Quand la dureté, la tenacité ou la cohésion des matières est plus grande, il faut augmenter la masse et la vitesse des pilons, ou au moins l'une ou l'autre. En général, il faut une grande masse et une petite vitesse pour changer la forme d'une matière que l'on ne veut pas désunir. Le poids des pilons est de 50 à 90 kilog., le bois et la fonte compris. La levée n'est ordinairement que de $0^m,22$ à $0^m,27$; dans certains cas fort rares elle a été de $0^m,50$ à $0^m,65$. La vitesse du choc se trouve réduite, dans le premier cas, à 2 mètres ou $2^m,3$.

Règles du Bocardage.

Pour bocarder du minerai, il ne suffit pas de le jeter successivement dans l'auge, et de le remplacer par du nouveau à mesure que le premier est pilé. La manœuvre du bocardage exige de grands soins. Il faut d'abord que le bocardeur reconnaisse les minerais qui ont besoin d'être soumis au bocardage; ce qui demande un mûr examen. Comme il se perd dans les bocards et dans les laveries une portion assez notable de minerai, il faut examiner si celui-ci ne peut pas être fondu avec plus d'avantage sans passer aux bocards. Ensuite il faut examiner la gangue des minerais à bocarder et faire un triage; car tous n'exigent pas la même espèce de bocardage.

On doit piler à gros sable :

1° Les minerais répandus à gros grains dans leur gangue ;

2° Les minerais répandus dans une gangue pesante ;

3° Les minerais répandus dans une gangue calcaire ou argileuse, parce que si on les pilait à sable fin, ces gangues se prendraient en masses tenaces et visqueuses ;

4° Les minerais mêlés d'autres minerais pesants, tels que les blendes, qui se séparent mal sur les tables à laver ;

5° Enfin les minerais riches et légers que l'eau emporterait.

On doit piler à sable fin :

1° Les minerais d'or, afin de ne rien perdre dans les gangues ;

2° Les minerais disséminés à grains fins dans leurs gangues. On doit toutefois éviter la trop grande finesse, qui donne une bourbe difficile à séparer par l'eau ;

3° Enfin les minerais à gangue quartzeuse.

Manœuvre du Bocard.

La manœuvre du bocard se réduit à ces trois points : savoir piler gros ou menu, selon le cas ; jeter à propos du minerai dans l'auge ; surveiller les dépôts des bassins et reconnaître si le bocardage va bien ou mal. Il y a trois moyens de bocarder à gros sable ou à sable fin, et c'est en cela que consiste toute la science du bocardeur, 1° en faisant varier les dimensions de l'auge ; 2° en faisant varier la quantité d'eau qui arrive sous le pilon dans un temps donné ; 3° en faisant varier le poids ou la vitesse du pilon.

1° Une auge large et longue doit donner un sable fin ; une auge étroite et courte, un sable gros. Le fond de l'auge est, comme nous l'avons dit, garni de cailloux pilés par le bocard lui-même, jusqu'à la hauteur que l'on veut donner à cette auge. Lorsque l'on veut augmenter la profondeur, qui est la seule dimension que l'on puisse changer, on ne jette pas de minerai et l'on fait jouer les pilons : ceux-ci broyent la première couche, que l'on fait enlever ensuite par l'eau, et ainsi de suite. Si, au contraire, on veut diminuer cette profondeur pour piler à gros sable, on ajoutera, sur le fond, des pierres que l'on fera piler à sec.

2° Le second moyen que l'on met en usage, est de faire varier la quantité d'eau. L'eau, qui arrive abondamment et qui sort avec vitesse, donne un sable très-gros, parce que celui-ci se trouve entraîné avant d'avoir eu le temps d'être pilé. Au contraire, en faisant arriver moins d'eau et la faisant sortir avec moins de vitesse, on aura un sable plus fin.

3° Enfin, le troisième et dernier moyen consiste à faire varier le poids et la levée des pilons. Il est rare que l'on change le poids des pilons; cependant cela a lieu quelquefois en plaçant dessus de lourdes masses. Dans une batterie, on distingue trois pilons différents de noms et d'usages, savoir: le pilon dégrossisseur, le pilon d'aide, et le pilon de fin. Un pilon pesant ayant une grande levée donne du sable menu; ce cas convient pour les minerais d'or disséminés dans une gangue dure. Un pilon moins pesant et qui a moins de levée convient pour les gangues tendres, qu'il faut d'ailleurs piler à gros grains. On change la levée des pilons, en changeant le mentonnet. La levée n'est pas toujours la même pour chaque pilon : elle doit aller en croissant depuis le dégrossisseur jusqu'au pilon de fin. Ainsi le premier a ordinairement une levée de 0,22; le second une de 0,24; le troisième une de 0,26. Le contraire a lieu quand on veut avoir du gros sable. C'est à l'ouvrier chargé du bocardage de surveiller si le minerai ne se pile pas trop fin, et, dans ce cas, de faire varier la quantité d'eau; car c'est le moyen qu'il emploie le plus souvent pour modifier à son gré l'opération. Il doit donc examiuer les dépôts des bassins.

Il faut aussi jeter le minerai à propos dans l'auge. Dans certaines usines on le jette à la pelle. Depuis quelque temps on a employé une caisse placée en avant du bocard. Près du pilon, elle est pyramidale et présente en bas une ouverture donnant dans un canal incliné. Cette caisse repose sur un heurtoir: à chaque levée du pilon elle reçoit une secousse qui permet à quelques morceaux de minerais de tomber dans l'auge. Ce moyen est préférable à celui de charger le minerai à la pelle, parce qu'il est indépendant de la négligence de l'ouvrier, qui, pour ne pas revenir si souvent au travail, encombre parfois l'auge de manière que le bocardage se fait mal. Pour avertir l'ouvrier que le pilon plonge trop bas, c'est-à-dire qu'il faut jeter du minerai, on place sur la flèche de l'un des pilons une cheville qui vient frapper contre une plaque de tôle lorsque le pilon descend trop bas dans l'auge.

Enfin, le troisième et dernier point de la manœuvre du bocard consiste dans la surveillance des dépôts des bassins. Le premier, ainsi que nous l'avons vu, a une moindre dimension et plus de pente; le second a plus de longueur et moins de pente que le précédent, et ainsi de suite pour les autres. De cette manière, les gros sables se déposeront dans les premiers bassins, où l'eau a un courant plus rapide, et les sables

fins se déposeront dans les derniers, où l'eau coule plus tranquillement. L'ouvrier doit surtout veiller à ce que le fond des bassins conserve la pente qu'ils doivent avoir, même quand ces pentes seraient altérées par les dépôts successifs qui s'y forment. Pour cela, il doit placer des tringles et des hausses aux extrémités de chaque bassin, pour éviter que les dépôts de l'un ne se rendent dans le suivant. Quelque avantage qu'il y ait à séparer les diverses sortes de sables, il faut faire en sorte que le premier ou les deux premiers bassins contiennent la plus grande partie du minerai; car les autres dépôts sont plus pâteux, et donnent plus de déchet.

Du Bocardage à sec.

On bocarde à sec les minerais sur lesquels on craindrait d'éprouver un trop grand déchet par le bocardage à l'eau, ou pour lesquels ce dernier bocardage coûterait trop cher. Le bocardage à sec diffère du précédent, en ce que l'auge a une ouverture devant, et que le fond est garni d'une plaque de fonte de quelques décimètres d'épaisseur. Les minerais, en sortant de dessous les pilons, sont reçus sur une grille à charnière. Quand il y tombe des morceaux trop gros, l'ouvrier, en élevant son extrémité, les rejette sous les pilons. Quand il n'y a pas de grille, on passe le minerai à travers une claie. Lorsque le minerai est riche, on termine ce bocardage par un lavage. On le jette dans une première caisse de 1 mètre 30 centimètres de long sur 65 centimètres de large; on l'expose au courant d'eau, qui entraîne dans une seconde caisse ce qui n'a pu se déposer, et successivement. Le dépôt de la première caisse est passé dans trois cribles successifs, dont les mailles ont, pour le premier, 9 millimètres de distance, pour le second 5 millimètres, et pour le troisième, 2 millimètres seulement. Ce qui passe par le troisième crible est lavé dans des caisses allemandes; ce qui ne passe pas est envoyé au bocard à l'eau. Quand les minerais sont précieux, comme ceux d'argent, qui ne contiennent que 16 grammes au quintal, ils peuvent être amenés à 94 ou 125 grammes de richesse par le triage. Les minerais pauvres, tels que le plomb, qui ne contient que 15 à 20 p. 100, ceux de cuivre pyriteux, qui ne contiennent que 3 à 5 p. 100, peuvent être bocardés à moins de frais par le bocardage à sec. Les déchets du triage et les rebuts du criblage sont ordinairement envoyés au bocard à l'eau, quand on a reconnu que le minerai avait

assez de richesse pour soutenir cette dépense. Les cribles dont on fait usage sont des grilles ou claies, ou des cribles à main. Ils peuvent avoir la forme cylindrique comme les cribles à eau ; mais, le plus souvent, ils ont une forme rectangulaire, sont portés sur quatre roulettes, et ont en avant une poignée qui permet à l'ouvrier de les manœuvrer. On a introduit dans quelques mines d'Angleterre, principalement dans celles du Derbyshire, une méthode qui ne peut guère s'employer que pour les minerais à gangue calcaire ou barytique. On fait arriver le minerai que l'on veut broyer entre des cylindres cannelés qui ont 33 centimètres de diamètre, et les cannelures 45 millimètres : elles sont un peu arrondies. Par cette première opération, le minerai est broyé en très-gros fragments. Il tombe de là entre deux autres, où il est broyé de nouveau en fragments plus petits. Il y a ainsi trois paires de cylindres disposées les unes au-dessus des autres. Un seul cylindre de chaque paire est mis en mouvement ; l'autre est mu par la résistance des matières. Il est certain que cette machine présente un grand désavantage si l'un des morceaux de minerai, trop dur ou trop gros, ne pouvait être broyé : la machine alors ou se romprait, ou s'arrêterait. Pour remédier à cet inconvénient, on dispose l'axe du cylindre de manière qu'il puisse reculer quand la résistance est trop grande. Cette méthode, qui est regardée comme une heureuse invention dans le Derbyshire, est employée aussi en Angleterre sur les routes pour broyer les cailloux qui doivent servir à les réparer. Les cylindres sont mus par de petites machines à vapeur de la force de deux ou trois chevaux.

SECTION III.

DU LAVAGE.

C'est par le lavage que l'on parvient à séparer les gangues, les terres des minerais, et même les différentes sortes de minerais entre elles. Le lavage est fondé sur ce principe, que, dans l'eau, les substances s'arrangent et se déposent suivant leurs diverses pesanteurs spécifiques. Dans une eau tranquille, les substances les plus pesantes tomberont plus vite que celles qui le sont moins. Dans une eau agitée, celle d'un crible, par exemple, les substances se déposeront par couches dans l'ordre de leurs pesanteurs. Dans une eau courante, les plus pesantes se déposeront le plus près du point de départ, et les plus légères le plus loin. Ces dépôts seront déterminés par la pesan-

teur spécifique du liquide, par le plus ou moins de grosseur des morceaux de minerai ou du sable, par le repos ou le mouvement absolu ou relatif du liquide, par la vitesse du courant.

La seconde cause qui peut influer sur la séparation des substances suspendues dans le liquide, est la grosseur des molécules. Deux molécules homogènes, inégalement grosses, se déposent d'autant plus vite, dans une eau stagnante ou courante, qu'elles sont plus grosses. Deux molécules hétérogènes peuvent tomber avec la même vitesse et se déposer ensemble, si la plus légère est plus grosse que la plus pesante. En général, le lavage ne peut bien se faire que quand les molécules sont réduites à la même grosseur, et quand les plus légères ont le plus de volume.

La troisième cause est le mouvement ou le repos du liquide; il peut avoir une grande influence sur la séparation des substances hétérogènes. Si l'eau qui contient plusieurs substances de nature et de pesanteur différentes est en repos, le dépôt successif aura lieu comme nous l'avons indiqué. Si l'eau, ainsi chargée, arrive dans un bassin où elle reste stagnante, les dépôts seront mélangés. Si l'eau est courante, les molécules les plus pesantes se déposeront le plus près du point de départ, et les moins pesantes d'autant plus loin qu'elles seront plus légères.

La quatrième et dernière cause est la vitesse du courant. Plus la vitesse sera grande, plus les dépôts se feront loin, et plus ils seront éloignés les uns des autres. En augmentant la vitesse du courant et la profondeur verticale du liquide, on facilitera la séparation des molécules de différentes grosseurs.

Des soins du Lavage.

Le lavage est un triage perfectionné qui permet d'enlever à la gangue les dernières parcelles du minerai, et réciproquement. Les divers soins qu'exige le lavage sont les suivants :

1° On donne aux tables une pente beaucoup plus grande qu'aux canaux et aux bassins, afin que les molécules pesantes restent seules sur ces tables.

2° On fait couler une lame d'eau, ou un flux d'eau superficiel, pour que les molécules légères soient seules entraînées ; ce sont celles qui se placent à la surface du dépôt.

3° On se sert du balai ou du râble pour ramener les parties entraînées trop bas, ou remuer les morceaux déposés sur la table, ou enfin pousser dehors les molécules de sable attachées à la surface du dépôt.



4° On augmente les aspérités du sol, afin de retenir les molécules les plus pesantes.

5° Le dernier moyen consiste à employer les secousses et le mouvement alternatif de la table sur laquelle se fait le dépôt.

Des procédés de Lavage.

Les divers procédés de lavage sont compris dans trois classes. La première est en usage pour les minerais qui ne se trouvent associés qu'à une seule espèce de gangue, ou qui ne contiennent qu'un seul métal. Ce mode de lavage est le plus simple, et nous avons déjà eu occasion de le mentionner. La seconde classe comprend les méthodes de lavage usitées pour les minerais d'or. Enfin, la troisième classe est celle qui a pour but de laver les minerais mélangés à plusieurs gangues ou renfermant plusieurs métaux.

Lavage des minerais d'or.

Le lavage de l'or se fait à la sébile ou à l'augette. Cette dernière consiste en une petite auge qui a 40 ou 43 centimètres de largeur sur 108 millimètres de hauteur et 48 centimètres de longueur. Les parois sont abattues vers l'ouverture de l'augette comme les vans. Deux poignées latérales servent à l'ouvrier à manœuvrer l'augette comme s'il vannait. En agitant ainsi le minerai, l'or se concentre sur le fond. Vers la fin de l'opération, l'ouvrier se sert d'un petit cornet pour amener de l'eau sur le dépôt, et séparer, par ce moyen, les sables qui sont à la surface. Cette méthode est particulièrement en usage en Hongrie.

La sébile consiste en un plateau de bois qui a 40 ou 43 centimètres de diamètre, sur une profondeur de 54 à 80 millimètres. Les orpailleurs se placent dans le courant qui contient les paillettes d'or : ils sont dans l'eau jusqu'aux genoux, et lavent ainsi dans le courant même les sables aurifères, en agitant avec la main et à fleur d'eau ; les sables les plus légers sont entraînés par le courant, et les plus lourds restent au fond.

Ce lavage à l'augette ou à la sébile exige beaucoup d'adresse, et les ouvriers chargés de ce soin doivent s'exercer sur des minerais peu riches, et on ne leur doit confier cette opération que lorsqu'on est assuré de leur habileté.

Lorsqu'on veut laver à la fois une grande quantité de sables aurifères, ou quand les sables sont très-pauvres, on emploie

des tables inclinées de 15 à 20 degrés : ce sont des tables sur lesquelles on tasse de la glaise en lits minces, et que l'on recouvre ensuite de toiles. On a soin de pratiquer un rebord en glaise autour de la table. On fait arriver continuellement de l'eau. Tout ce qui est terre est entraîné ; ce qui est métal vient se déposer sur la longueur des toiles. Il est évident que la première toile contient le sable le plus pesant, et ainsi de suite. Les sables pesants sont lavés ensuite à la sébile ou à l'augette.

Dans quelques pays, on emploie des tables inclinées aussi de 15 à 20 degrés ; mais, au lieu de toiles, on y a pratiqué des rainures de 27 millimètres, dans lesquelles s'arrête le minerai riche. Ce mode de lavage a été employé dans les Alpes : ce sont les sables noirs, résultant de ce lavage, qu'on passe à la sébile ou à l'augette. Quand le minerai d'or se trouve engagé dans une vase argileuse, on la jette sur une table où un ouvrier la divise à la pioche. Dans cet état, elle est entraînée par l'eau : le dépôt a lieu de même sur la table à rainures, mais il est moins visqueux. Au lieu de tables à rainures, on emploie aussi des tables à crémaillère qui font le même effet.

Lavage des minerais à plusieurs gangues ou métaux.

Ce lavage s'exécute sur des tables de formes différentes. Pour que ce lavage puisse produire une séparation exacte des sables dont le minerai est chargé, il faut que les tables soient construites de manière que les molécules pesantes puissent seules s'y arrêter, ce qui exige qu'elles aient une grande pente. En outre, il faut que ces molécules pesantes ne puissent être entraînées. Pour satisfaire à cette seconde condition, il faut que l'eau s'étende sur la table en couches minces. Quant à la manœuvre, elle consiste à remuer le minerai avec un râble ou une pelle, et à ramener vers le haut de la table ce qui a été entraîné vers la partie inférieure. Nous diviserons ce lavage en trois classes, exécutées sur trois espèces de tables différentes, qui sont :

Espèces de Tables.

1° Les tables à bords élevés, dites *tables à tombeau ;*
2° Les tables à bords peu élevés, dites *tables dormantes ;*
3° Les tables à répercussion, dites *tables à secousses.*

Tables à tombeau. Le premier genre de tables à bords élevés consiste en un lavoir simple : c'est une caisse enterrée dans le sol, qui a 2 mètres de long sur 1 mètre 1/2 de large. On y jette les résidus du cassage et du triage ; on les agite, et l'eau

entraîne les parties légères dans des caisses disposées au-dessous. Les dépôts des bassins successifs sont envoyés aux laveries.

La deuxième espèce de tables à bords élevés est employée pour des minerais assez riches. C'est la caisse à tombeau, ou caisse allemande. Elle a 3 ou 4 mètres de longueur, sur une largeur de 7 à 8 décimètres et une hauteur de 6 à 7 décimètres. La pente varie, suivant les minerais, de 15 à 20 degrés. Elle est placée immédiatement sur le sol. Vers la tête de la table, se trouve une tablette placée à peu près au niveau des bords, et qui recouvre une caisse fermée. Cette tablette est en saillie de 1 à 2 décimètres sur le côté extérieur de l'encaissement. Ce dernier reçoit continuellement de l'eau, et on règle la quantité qui en arrive au moyen d'un robinet. Cette eau passe dans une ouverture placée horizontalement au-dessous de l'encaissement, et qui a toute la largeur de la table, de là s'élève dans un intervalle que présentent la paroi de l'encaissement et une planche qui s'élève du fond de la table, puis retombe en nappe sur toute la largeur de la table. Aux deux tiers de cette table, est pratiqué un encaissement. L'extrémité se termine par une vanne, quelquefois percée de trous à des hauteurs différentes. A la suite de la table, se trouve un bassin où se déposent les poussières que l'eau a entraînées. Quand il s'agit de laver un minerai pesant uni à une gangue terreuse, comme le plomb argentifère, le cobalt arsenical, l'opération est très-facile. On apporte plusieurs corbeilles de minerai sur la tablette : l'ouvrier en fait tomber quelques pelletées au pied de la petite planche, en l'exposant ainsi immédiatement à la nappe d'eau ; puis il remue avec un râble. Les parties lourdes restent sur la table : tout ce qui est léger est entraîné par l'eau dans les deux encaissements successifs dont nous avons parlé. L'ouvrier ne doit faire usage du râble que sur la première partie de la table. Quand le minerai est pauvre, le dépôt sur le premier gradin est peu considérable ; sitôt que le second est plein on enlève. Lorsque les matières que l'on passe sont des résidus de criblerie, on ne peut pas espérer d'obtenir du schlick pur sur ces tables ; on se contente d'un dégrossissage. Mais les opérations deviennent plus longues et plus difficiles, lorsqu'il s'agit de séparer plusieurs substances métalliques. Il faut répéter cette manipulation quatre, cinq et six fois. Tel est le lavage qui s'exécute, au Hartz, sur un minerai de plomb sulfuré et de cuivre pyriteux. L'ou-

vrier, lorsque le dépôt a couvert toute la surface de la table, sur une épaisseur de 2 ou 3 centimètres, en raison des pesanteurs spécifiques, admet une nouvelle quantité d'eau : il se forme un nouveau dépôt sur le premier, et ainsi de suite. Il a soin de fermer le trou inférieur, et d'en percer un nouveau plus haut, au fur et à mesure que les dépôts s'élèvent sur la table. Il atteint ainsi, par ces dépôts successifs, jusqu'au niveau où l'eau arrive. A ce moment, on sépare le minerai déposé en trois bandes. On enlève à la pelle le minerai contenu dans chaque bande, et on en forme trois dépôts que l'on met à part. Le premier, celui qui est le plus près de la tête, est reporté sur une table semblable; on obtient de nouvelles couches sur toute la surface de la table; on divise de nouveau en trois bandes. La première bande est reprise de même, et reportée sur une troisième table, qui donne de même trois bandes. Ainsi, soit a le minerai, les trois premières bandes seront a', b, c; les trois secondes bandes obtenues seront a'', b, c; b et c se rejetant sur les premières, désignées de même. A la troisième table, on obtient trois bandes désignées a''', d, c; par une quatrième opération, on obtient trois autres bandes a^{IV}, d, c; enfin, à la cinquième ou sixième opération, on obtient, à la tête de la table, du schlick pur a^{V} ou a^{VI}. Les dépôts b et d sont traités à part, mais sur la même table. Quant au dépôt c, il est de sable beaucoup trop fin; on ne peut le laver que sur des tables dormantes. On a proposé, dans quelques endroits, de diviser cette caisse par des cloisons pour séparer les dépôts. Cela a lieu pour les minerais visqueux. Par exemple, on a placé à la tête de cette table une cloison qui a deux pentes opposées. Le minerai est mis à la tête, au bas de la première pente, on fait arriver de l'eau, on agite avec le râble, et bientôt le sable fin passe par-dessus la cloison, et va se déposer sur le fond de la table. Il reste, en avant de la cloison, du minerai pur, ou il ne reste rien. On divise également en trois bandes le dépôt formé sur cette table. On bocarde ce qui reste en avant de la cloison. En Hongrie, on a remplacé une table semblable par des patouillets.

On fait usage, sur les bords du Rhin, de tables courtes. Ces tables ont 1 mètre 46 centimètres de longueur sur 2 mètres de large, et une pente qui est le sixième de leur longueur. L'eau arrive continuellement par un petit canal, et se déverse à peu près sur la moitié de la longueur de la table. L'ouvrier

est à la partie supérieure de cette table armé d'un long râble. On dépose le minerai sur la partie où l'eau ne coule pas : l'ouvrier en attire à lui et l'amène sous la nappe d'eau. Il agite avec son râble ; l'eau emporte les parties légères dans des bassins successifs. Au bout d'un certain temps, le minerai est débarrassé de la plus grande partie des terres qu'il contenait; non pas qu'il soit tout-à-fait pur, mais on obtient un schlick ébauché qui contient encore un peu de sable. L'ouvrier interrompt alors l'écoulement de l'eau ; mais il continue à manipuler : il prend de l'eau dans le canal inférieur et la jette sur le sable obtenu. Lorsqu'il a ainsi lavé une première fois ce sable, il le ramène au haut de la table et recommence la même opération en l'exposant de nouveau au courant d'eau. Le sable que l'on obtient est mis à part, et porté sur une autre table. Il y en a ordinairement trois semblables près les unes des autres. Le produit des trois est porté sur une quatrième qui donne du schlick pur ou réputé tel, que l'on nomme *alquifoux*; c'est un sulfure de plomb qui contient 25 p. 100 de sable. Le travail sur ces tables est fort expéditif : le courant d'eau est assez rapide, et l'on obtient en peu de temps du schlick ébauché propre à être envoyé sur la quatrième table, où il s'épure tout-à-fait. C'est sur ces tables qu'on lave les sables sortant des bocards et aussi les vases des derniers bassins de dépôt; mais alors on leur donne une pente un peu moins considérable.

Tables dormantes.

Ce sont des tables fort longues et étroites, elles sont ordinairement accolées deux à deux. Elles ont beaucoup moins de pente que toutes celles dont nous avons parlé jusqu'ici. Le sable y est manipulé avec des râbles et des balais pour le concentrer. Elles se composent de deux longues pièces de bois de 15 à 20 centimètres d'équarrissage, réunies par une traverse à chaque extrémité. Le plancher de cette table est formé de planches assemblées à languette les unes aux autres. Les deux pièces longues présentent dans toute leur longueur, et vers le bas, une rainure dans laquelle on assemble ce plancher. Cette table doit poser sur des tréteaux tellement disposés, qu'ils présentent l'inclinaison que doit avoir la table. A l'extrémité inférieure se trouvent plusieurs bassins ou canaux les uns au-dessus des autres, destinés à recevoir les parties entraînées par l'eau. L'accolement de deux de ces tables présente ce qu'on appelle une *table jumelle* : la pièce longue du milieu

sert pour les deux. Les bords s'élèvent au-dessus du fond de 10, 12 ou 15 centimètres au plus. A la tête de la table on place des liteaux au nombre de trois, et formant par leur réunion une espèce de triangle tronqué : ils ont une longueur de 18 centimètres et laissent entre eux un intervalle de 25 centimètres. A la partie inférieure de la table on place aussi d'autres liteaux qui laissent entre eux le même intervalle que les précédents. C'est dans l'espèce de case que présentent les trois liteaux à la partie supérieure de la table, que tombe l'eau qui déborde par-dessus le troisième. Dans un atelier, on place ainsi 20, 30 et même 40 paires de tables, en laissant entre chaque l'espace nécessaire pour le passage des ouvriers. L'eau arrive par un petit canal qui a pour longueur la largeur des deux tables. Ce canal est percé de trois trous que l'on peut fermer par de petites vannes, au moyen desquelles on donne plus ou moins d'eau. Il y a un trou au milieu de chaque table; le troisième est dans la pièce de bois du milieu qui est creusée dans sa longueur d'une petite rigole, dans laquelle l'eau peut courir. Ce canal communique avec un réservoir supérieur. La table dormante a 6 ou 7 mètres de longueur sur une largeur de 8 à 15 centimètres; l'inclinaison varie aussi, suivant les sables, de 2 à 8 degrés. Il n'est pas facile de déterminer *à priori* quelle inclinaison on doit donner à ces tables : l'expérience seule peut aider dans cette détermination. Dans une même laverie, les tables pour les minerais riches ont plus de pente. Quatre canaux sont disposés au-dessous de chaque table jumelle : le premier est le plus profond, le second est d'une profondeur moyenne ; le troisième et le quatrième sont égaux et moins profonds.

On lave sur ces tables des sables riches ou des sables visqueux et pauvres. Pour le lavage des sables riches, on jette à la partie supérieure de la table une corbeille de minerais et on donne de l'eau ; l'ouvrier remue avec un râble. Quand l'eau a entraîné les parties légères et qu'il s'est formé un dépôt sur le fond, il remue ce dépôt de fond en comble avec le plus grand soin ; il fait arriver moins d'eau et présente au courant les molécules qui sont dessous la couche de dépôt. On laisse perdre encore cette eau, ou bien on la fait arriver dans un compartiment du canal qui la conduit au labyrinthe. Alors l'ouvrier promène un balai sur toute la surface du dépôt en faisant arriver de l'eau. Cette eau est reçue dans un second canal. Il prend un balai plus rude et recommence la même opération. Enfin,

dans une dernière manipulation, l'ouvrier achève de concentrer entièrement ce minerai avec un râble, et il obtient un schlick pur. L'eau de cette dernière opération est reçue dans un troisième canal. Les sables sont repassés sur la table. Quand, au contraire, il s'agit de laver des schlamms, qui sont des minerais pauvres, le travail est beaucoup plus long et plus difficile. On commence par apporter une corbeille de ces minerais pauvres dans la case qui est à la partie supérieure de la table. L'ouvrier, avec une pioche, déchire la surface et fait arriver de l'eau : il se forme un dépôt très-léger. Il faut deux heures avant que ce dépôt puisse être lavé : il est alors moins visqueux, et l'on opère comme précédemment. Si l'on veut comparer le résultat obtenu par ces deux opérations, il offre une différence énorme. Ainsi, à Pesey, en Savoie, les laveuses à qui l'on confiait le minerai riche donnaient ordinairement 30 quintaux métriques de schlick par mois ; tandis que celles situées à l'extrémité de la laverie, et à qui l'on confiait les sables pauvres, ne donnaient pendant le même temps que 2, 3 ou 4 quintaux métriques. Ces tables conviennent pour le plomb sulfuré, le cobalt arsenical, qui diffèrent en pesanteur des gangues dans lesquelles ils sont mélangés ; seulement, pour le dernier, on le reçoit dans une caisse mobile placée au-dessous de la table à laver, car il est livré dans cet état au commerce. On se ménage donc ainsi le moyen d'enlever la caisse pour en retirer le cobalt, le faire sécher sur des tablettes, et le mettre en sacs. Le cuivre pyriteux étant réduit en sable sous les pilons d'un bocard, peut être aussi lavé sur ces tables ; mais il faut remarquer que le fer sulfuré auquel il est toujours uni ne se sépare jamais complètement, à cause du peu de différence qui existe dans la pesanteur spécifique de ces deux minerais, en sorte que ces tables sont plus avantageuses pour la galène et le cobalt arsenical.

On a fait subir à ces tables quelques modifications. Ainsi, à Schemnitz, en Hongrie, la partie supérieure de la table est surmontée d'un gradin qui a moins de pente que la table. Sur ce gradin sont disposées des chevilles triangulaires dont l'angle est en avant. Le minerai est mis plus haut que les chevilles, et lorsqu'on fait arriver l'eau, arrêté par celles-ci il se dépose. L'extrémité inférieure de la table est percée de trous disposés sur une diagonale. Le minerai se dépose sur toute la longueur de la table : quand le dépôt atteint une épaisseur de 10 à 12 centimètres, on le partage en trois bandes. La première, qui a

une largeur de 25 centimètres, est mise à part comme contenant de l'or pur et est lavée à l'augette. Les deux autres bandes sont enlevées également et mises à part. Cette opération est regardée, à Schemnitz, comme beaucoup plus économique que celle qui aurait lieu par la voie sèche pour séparer l'or. Quand on lave des minerais d'argent, on opère de même, mais on ne les sépare pas des pyrites. On a quelquefois, pour économiser la main-d'œuvre, divisé ces tables en deux; on les appelait alors tables doubles ou brisées. On formait une cascade au milieu et on relavait les dépôts formés.

Tables à secousses.

Les tables à secousses ont été inventées pour économiser les dépenses de main-d'œuvre, et laver à peu de frais des vases pauvres. Aujourd'hui on les emploie indistinctement pour les sables riches ou pauvres, à gros grains ou à grains fins, à gangue facile à séparer ou visqueuse. Ces tables ont des dimensions qui varient suivant les minerais qu'on y lave. Ainsi, pour des minerais très-riches et à gros grains, la table peut n'avoir que 2 mètres de longueur sur 1 mètre 50 centimètres de largeur; quand on traite des minerais à gangue visqueuse, elle peut avoir 4 mètres de longueur. Les rebords sont élevés de 12 à 20 centimètres; l'extrémité inférieure est ouverte. Ces tables sont suspendues par quatre chaînes, dont deux, fort courtes, à la tête, fixées sur un levier. On fait osciller cette table au moyen d'une roue à cammes qui la pousse en avant; puis, à l'aide des chaînes qui la soutiennent, elle revient sur elle-même et frappe contre un heurtoir. Ce mouvement oscillatoire de la table, et principalement la secousse qu'elle éprouve lorsqu'elle vient à frapper contre le heurtoir, facilite beaucoup la séparation des molécules d'inégale pesanteur. On donne 40 à 50 secousses par minute. L'ouvrier est monté sur un plancher placé sur la table, dont il suit le mouvement. On charge à la fois 17 décimètres cubes. L'ouvrier manipule comme sur une table dormante; il répartit le sable sur toute l'étendue, le plus également qu'il est possible, et empêche l'eau de couler en filets ou de creuser de petites rigoles. En 15 minutes, on charge 7 à 8 fois la même quantité, ce qui donne, au bout de ce temps, 137 décimètres cubes de schlick ébauché. L'ouvrier, après avoir ainsi purifié le sable avec son râble, abaisse la table à l'extrémité inférieure; il fait arriver un courant d'eau plus volumineux et envoie tout le schlick dans une caisse disposée à cet effet.

Lorsque le minerai est moins riche, on l'attire avec une pioche sur la tête de la table couverte de chevilles. Quand l'ouvrier est parvenu à concentrer ce dépôt sur toute la longueur de la table dans l'épaisseur d'un centimètre, il divise toute cette étendue en trois bandes inégales. La table a ordinairement une longueur de 20 ou 21 pellées. La première bande contient 6 pellées, la deuxième 7, la troisième 8. Lorsque les sables sont très-pauvres et très-visqueux, les tables vont très-lentement et oscillent peu. Le premier travail se fait sans main-d'œuvre. Quand il s'est formé un dépôt, on le divise en 2 parties, 1/3 d'une part et 2/3 de l'autre. On relave le premier tiers sur la table, mais alors un ouvrier remue avec un râble, et on obtient un dépôt que l'on partage aussi en deux; la première portion est riche à 70 p. 100, la seconde à 50 p. 100. Enfin les deux derniers tiers sont relavés, et forment à la tête de la table un schlick riche à 30 p. 100, et que l'on envoie à la fonderie : le reste est abandonné.

Quand la camme pousse la bielle, la table avance; son inclinaison augmente, la vitesse de l'eau augmente en même temps et entraîne les molécules légères. Quand la table revient en arrière, l'eau continue à se mouvoir et a une vitesse plus grande par rapport à la table qui roule, et aux molécules qui sont restées : elle a donc plus d'action sur ces molécules qui avaient résisté à la première impulsion, et les entraîne. Quand la table s'arrête brusquement, l'eau et le dépôt tendent à continuer leur descente ; les molécules pesantes tendent à remonter un peu.

L'eau qui descend se ride à la surface pendant quelques instants. Les molécules légères adhérentes perdent leur adhésion, et l'eau les entraîne. Ces tables, dont l'invention remonte à 70 ans, et que l'on disait devoir être trop dispendieuses, sont aujourd'hui employées dans tous les cas et pour toutes sortes de minerais; elles sont d'autant plus avantageuses sous le rapport de l'économie, qu'elles peuvent être employées à séparer entre eux divers minerais.

Voir, pages 574 et suivantes, la Légende des Planches annexées à notre texte, et dont nous n'avons pas indiqué le détail.

CHAPITRE IX.

MÉTALLURGIE DU FER.

TITRE PREMIER.

HAUTS - FOURNEAUX.

ARTICLE Ier. — THÉORIE DE LA FABRICATION DU FER EN GÉNÉRAL.

Si l'on considère les minerais grillés comme du protoxide, du peroxide et un mélange, en diverses proportions, de ces deux corps unis à des gangues, il convient de les placer en présence de nouveaux corps capables de leur enlever l'oxigène qu'ils contiennent; mais il faut encore que ces corps soient tels que la combinaison qu'ils forment avec l'oxigène puisse être chassée entièrement d'une manière facile, et que les parties qui resteraient dans les produits ne nuisent pas à leur qualité. Nous trouvons que l'hydrogène et le carbone se rencontrent dans ces conditions; mais ici le carbone seul est employé exclusivement.

Dans certains pays, tel que la Suède, on emploie le bois en nature, ou légèrement torréfié. En France, où ce combustible n'est pas voisin de toute exploitation, on emploie le charbon de bois, la houille et le coke, ainsi qu'en Angleterre.

Quoi qu'il en soit, le carbone joue un rôle triple :

1° Il donne en brûlant la chaleur nécessaire pour faire naître la réaction chimique et enlever l'oxigène; il fournit aussi la chaleur nécessaire à la liquéfaction;

2° En s'emparant de l'oxigène, il passe à l'état d'acide carbonique et réduit l'oxide;

3° Il s'unit au fer pour constituer la fonte, qui est très-fusible, tandis que le fer pur ne pourrait être fondu.

ARTICLE II. — DES FONDANTS.

La silice provenant des gangues joue le rôle d'acide à l'égard de l'alumine, de la chaux et du fer. Il se forme donc,

dans le courant de l'opération, des silicates fusibles qui entraîneraient une grande partie du fer, si on ne remédiait pas à ce que ce métal joue le rôle de base; on ajoute pour cela des substances argileuses ou calcaires, et que l'on nomme *fondants*.

Les fondants doivent être choisis d'après la nature du minerai. Si le minerai de fer est trop calcaire, on lui ajoute un fondant argileux, et si au contraire il renferme un excès d'acide silicique, on doit lui ajouter une base calcaire. Le fondant calcaire est appelé, dans les arts, *castine*, et le fondant siliceux, *erbue*.

Les proportions de fondants à introduire dans le traitement des minerais est chose très-importante, et ce n'est souvent que par tâtonnements réitérés qu'on parvient à dorer convenablement les charges; cependant l'analyse chimique soit du minerai, soit du fondant, peut conduire à d'assez exactes approximations.

La gangue fondue donne une masse vitreuse appelée *laitier*. D'après la composition des laitiers, on juge si les fondants ont été employés d'une manière convenable.

Pour qu'un laitier soit bon, il doit renfermer peu de fer, et ne pas être trop fluide, mais non plus trop pâteux, car dans ce cas il obstrue le fourneau et entrave la marche, tandis que le fer engagé s'en dégage difficilement.

D'après l'expérience, on a trouvé que la fluidité que les laitiers devaient avoir, s'obtenait en disposant les fondants de telle sorte que le poids de l'oxigène de la silice totale employée soit à celui des bases de la gangue comme 2 est à 1, ou ce qui revient à dire que le laitier doit se former de bi-silicates dans les fourneaux où l'on emploie le bois.

Quand on emploie le coke, le poids de l'oxigène doit être égal de part et d'autre, et, dans ce cas, il ne forme plus que des silicates moins fusibles que les bi-silicates; mais comme la température développée par le coke est supérieure à celle de tout autre combustible, les laitiers sont ramenés au degré de fluidité des bi-silicates.

ARTICLE III. — DES GAZ.

Les expériences de M. Ebelmen ont jeté un grand jour sur les réactions chimiques qui se passent dans les appareils où on traite les minerais de fer. — Ces expériences ont été faites sur les hauts-fourneaux de Clairval et d'Audincourt. Le premier

est alimenté par du charbon de bois; le second, par un mélange de charbon et de bois desséché.

A l'ouverture du gueulard, les gaz recueillis étaient composés :

12,88 p. 100		d'acide carbonique.
23,51	—	d'oxide de carbone.
5,82	—	d'hydrogène libre.
57,79	—	d'azote.

La vapeur d'eau a varié de 9 à 14 pour 100 volumes des gaz précédents.

De 1m,33 à 2m,67 au-dessous du gueulard, la quantité de vapeur diminue rapidement; les proportions des autres gaz étant les mêmes.

A 2m,67 à 5m,67 au-dessous du gueulard, on ne trouve plus d'eau, et les quantités d'acide carbonique et d'hydrogène diminuent.

Au bas de la cuve on a trouvé :

35,01 p. 100		d'acide de carbone.
1,92	—	d'hydrogène.
63,07	—	d'azote.

Au bas de l'étalage on avait :

0,31 p. 100		d'acide carbonique.
41,59	—	d'oxide de carbone.
1,42	—	d'hydrogène.
56,68	—	d'azote.

Un peu au-dessus de la tuyère le mélange était ainsi composé :

51,35 p. 100		d'acide de carbone.
1,25	—	d'hydrogène.
47,40	—	d'azote.

On voit donc que l'air atmosphérique qui arrive par les tuyères, se change immédiatement en acide carbonique; mais qu'à une hauteur très-faible au-dessus de l'injection d'air, il y a formation d'oxide de carbone sous l'influence du charbon en excès et de la haute température développée dans le voisinage des tuyères.

Ces nombres que nous venons de citer s'accordent avec ceux trouvés dans le fourneau d'Audincourt.

ARTICLE IV. — DES DIVERS CARBURES DE FER.

On divise les carbures de fer en deux séries :

1° les Fontes ;
2° les Aciers,

La fonte est une combinaison de fer avec des proportions de charbon variant de 0,02 à 0,06. De petites quantités de silicium et de phosphore ne changent pas sensiblement cette apparence physique. Les fontes du commerce, d'après des analyses exactes, ont donné 0,92 de fer entre 0,02 et 0,06 de charbon, et de 0,01 entre 0,026 de silicium. — On y rencontre aussi des petites quantités de manganèse, de phosphore, de soufre, d'aluminium et de potassium. La présence de ce dernier métal est surtout sensible lorsque les fontes ont été préparées au charbon de bois.

§ Ier. — FONTES.

Les fontes se divisent en : *fonte blanche*, *fonte grise*, *fonte noire*, et *fonte truitée.*

Fonte blanche. — Elle provient généralement de minerais manganésifères : elle est d'un blanc d'argent d'autant plus prononcé que la quantité de manganèse est plus forte. Elle est très-cassante. La cassure est souvent cristalline et présente de larges lames brillantes. Elle donne le meilleur acier. Elle sert à la fabrication des aciers d'Allemagne.

Fonte grise. — Cassure grenue, bien homogène. — Elle constitue la fonte *douce.* Sa densité varie entre 6 et 7. Ces fontes s'emploient généralement pour le moulage.

Fonte noire. — Grain fin, serré, sa cassure n'est jamais cristalline et contient toujours moins d'un demi p. 100 de manganèse. Sa densité varie entre 7,57 et 7,65. — Elle est employée pour des objets coulés en moule.

Fonte truitée. — C'est un mélange, en proportion variable, de fonte blanche et de fonte grise. — Les parties de fonte grise qui sont disséminées dans la masse blanche de la fonte donnent cet aspect bigarré ou truité d'où ces fontes tirent leur nom.

La couleur des fontes grises n'est pas due à une proportion plus considérable de charbon que celle qui entre dans les fontes blanches non manganésifères. — C'est ici, seulement, l'état dans lequel se trouve le carbone : il est répandu à un état de ténuité extrême dans les fontes blanches, la masse est donc

très-homogène et la combinaison très-intime, tandis que dans les fontes grises et noires, la division du charbon est moins grande, la masse est plus hétérogène, partant, la combinaison moins intime. — Le carbone semble disséminé *mécaniquement* dans la masse. Ces phénomènes sont d'ailleurs bien en rapport avec ce qu'on observe dans le changement de la fonte noire en fonte blanche, et réciproquement. En liquéfiant la fonte noire, le charbon se répand uniformément dans la masse, et si on la refroidit rapidement, on obtient de la fonte blanche; car, alors, les molécules de carbone n'ont pas eu le temps de se réunir, et la combinaison est restée intime; mais si le refroidissement a lieu lentement, la séparation s'opère petit à petit, chacune des substances cristallise à des époques différentes, d'une manière plus ou moins régulière, et constitue une masse hétérogène.

Composition de principales fontes.

	Fonte blanche.	Fonte grise	Fonte noire.
Carbone.	2.100	2.354	2.200
Silicium. . . .	1.060	0.840	2.500
Phosphore. . .	0.869	0.703	0
Manganèse. . . .	Traces.	Traces.	0
Fer.	95.971	96.133	95.300

Analyse des variétés de fonte provenant de l'usine du Creusot.

	FONTE grise.	FONTE noire.	FONTE truitée.	FONTE blanche.
Carbone. . . .	2.40	1.50	0.80	»
Terres. . . .	0.54	1.50	0.70	1.04
Phosphore. .	0.27	»	»	Traces.
Manganèse. .	»	»	»	1.54
Fer.	96.79	97.00	98.50	97.42

§ 2. — ACIERS.

Les aciers renferment environ 99 p. 100 de fer et 1 de matières étrangères. Ils sont des intermédiaires entre les fers et les fontes. Le centième de matières étrangères est, en

grande partie, du carbone, et l'acier acquiert, au maximum, toutes ses propriétés, quand le carbone y entre dans cette proportion.

On distingue quatre variétés d'acier, qui sont :

1° *Acier de cémentation;*
2° *Acier fondu;*
3° *Acier de forge, de fonte;*
4° *Acier wootz, indien ou damas.*

Acier de cémentation. Il s'obtient en chauffant du fer dans une poussière renfermant du charbon.

Le fer est disposé dans des caisses en terre, par couches alternatives de cément et de barres, en ayant soin de donner au lit inférieur une épaisseur double des autres. — On lute la caisse avec de l'argile, et on l'expose à l'action d'une haute température, et quelques barres de fer, laissées en saillie hors de la caisse, servent à guider l'opération.

Lorsque l'acier sort du four, sa surface est recouverte d'ampoules, ce qui fait qu'on lui a donné quelquefois le nom d'*acier poule*. Toutes les barres sont cassées à leur extrémité, et toutes celles qui ne sont pas aciérées jusqu'au centre, sont rejetées.

Le cément employé dans cette opération est de différentes natures; mais c'est toujours le charbon qui agit.

Acier fondu. L'acier de cémentation offrant une texture peu homogène, ne permet pas de l'employer à des ouvrages délicats; aussi a-t-on remédié à cet inconvénient, en le fondant avec un flux capable d'empêcher l'oxidation par l'air atmosphérique.

Cet acier a la même composition chimique que l'acier de cémentation, mais se présente avec des caractères extérieurs différents; aussi le granit est plus fin, plus blanc, et peut recevoir un beau poli.

Acier de forge. Il porte aussi le nom d'*acier d'Allemagne*, et très-improprement encore celui d'acier naturel.

L'acier de forge, ou d'Allemagne, s'obtient en décarburant des fontes blanches ou noires. Les procédés de fabrication consistent à soumettre des fontes affinées à l'action d'un feu assez violent, en contact avec de la limaille de fer ou fonte. — Cet acier est peu homogène, mais il se soude bien à lui-même, ce qui n'a pas lieu pour l'acier fondu, opération difficile à exécuter même pour l'acier de cémentation.

Acier wootz. Cet acier est employé, en Orient, pour la fabrication des armes blanches. — Il est moiré. — On a cru pendant longtemps que ce dernier état était le produit d'une décarburation incomplète, mais aujourd'hui on a reconnu que le moirage n'est dû qu'à l'action d'un acide, qui dissout une certaine partie de fer en laissant à nu le charbon.

Composition des principaux aciers.

	ACIER de cémentation.	ACIER d'Allemagne.	ACIER fondu, anglais.
Carbone. . . .	0.79	0.25	0.62
Silicium. . . .	0.15	0.78	0.03
Phosphore. . .	0.34	0.00	0.00
Fer.	98.72	98.97	99.35

Trempe de l'acier. L'acier, élevé à une haute température et refroidi rapidement, acquiert de nouvelles propriétés. — L'acier se brise avec d'autant plus de facilité, que la différence des températures auxquelles on l'a soumis a été plus grande.

L'acier se trempe dur et se recuit ensuite, car il est très-difficile d'obtenir les aciers d'une trempe déterminée. — Pendant ce recuit l'acier passe par différentes couleurs, ainsi que le montre le tableau suivant :

A la température de	220 à 230°,	il est	jaune paille.
——	245	—	jaune d'or.
——	255	—	brun.
——	265	—	pourpre.
——	280 à 290	—	bleuâtre.
——	300	—	couleur d'indigo.

(Voir, pour *construction et établissement* d'une usine de hauts-fourneaux, le *Manuel du Constructeur de Machines locomotives, par* C. E. JULLIEN, aux articles divers, page 344. Cet ouvrage fait partie de l'*Encyclopédie-Roret.*)

ARTICLE V. — RENSEIGNEMENTS-PRATIQUES SUR LA MARCHE DE DIVERS HAUTS-FOURNEAUX AU COKE.

---

§ 1er. — TROIS HAUTS-FOURNEAUX AU COKE, DONT UN MARCHE A L'AIR CHAUD.

Usine d'Alais.

Production par semaine, pour les trois, 90,000 kilogrammes fontes de diverses qualités :

Nombre des tuyères par fourneau . . 2
Diamètre de *dito* . . . . 0m,068.
Pression du vent en mercure . . . . 0m,100.

Consommation 1,2 coke pour 1 fonte produite :

Prix du coke: . . . . . . 11 à 12 fr. la tonne.
Prix du minerai . . . . . . 5 fr. la tonne.

Le minerai est grillé dans des fours à cuve, et rend 50 p. 100 après grillage, en poids.

Nombre des coulées par 24 heures . . . . . . 2.
Force de la soufflerie pour les trois fourneaux, 150 chevaux.
Main-d'œuvre par fourneau pour 12 heures:

1 fondeur à . . . . 5 fr. »
2 aides à . . . . 3 fr. »
2 chargeurs à . . . . 2 fr. 50.

Rendement du fourneau à l'air chaud par 24 heures, de . . . . . . 8 à 10,000 kil. fonte.
Rendement des fourneaux à l'air froid par 24 heures, chaque. . . . de 5 à 6,000 kil. fonte.
Consommation du fourneau à l'air chaud par 24 heures . . . . . . 12 à 13,000 kil. coke
25,000 kil. minerai.

Consommation des fourneaux à l'air froid par 24 heures, chaque . . . . 9000 kil. coke.
18,000 kil. minerai.

Roulement du fourneau à l'air chaud pendant 30 jours (juillet).

Matières premières: 1° coke . . . . 433,020 kil.
2° minerai. . . . 1,079,480 kil.
Production en fonte . . . . 298,529 kil.

Roulement d'un fourneau à l'air froid pendant 30 jours (juin).

Matières premières :	1° coke	315,630 kil.
	2° minerai. . . .	661,320 kil.
Production en fonte		176,266 kil.

Autre à l'air froid (août).

Matières premières :	1° coke.	10,703 hectol.
	2° minerai. . . .	663,620 kil.
Foute produite		176,000 kil.

---

2. TABLEAU COMPARATIF DE LA MARCHE DE 2 HAUT
L'AUTRE A L'AIR CHAUD BRULÉ (*Appareil* CABROL

DATES des coulées.	FOURNEAU A L'AIR FROID.								
	Nombre de charges.	Consommation.				Nature des chargements.	FONTE produite.	Pour 1000 kilog.	
		COKE.		MINE.					
		en volume.	en poids.	en volume.	en poids.			consommation de coke.	rendement de la mine
mars.		hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
1	22	7	200	27	486	4 roches, 21 bruts, 2 collonges.	2754		
1	25	»	»	»	»		2264		
2	25	»	»	»	»		2568		
2	24	»	»	»	»		2572		
3	23	»	»	»	»		2534		
3	23	»	»	»	»		2460		
	142								
4	23	7	200	28	504	2 collonges.	2352		
4	22	»	»	»	»		2499		
5	23	»	»	»	»		2323		
5	22	»	»	»	»		2617		
	90						24743	1875	216
6	24	»	»	»	»	4 roches, 22 bruts.	2176		
6	25	»	»	»	»		2284		
7	22	»	»	»	»		2460		
7	25	»	»	»	»		2382		
	96						9302	2060	192
8	22	7	200	29	522	25 bruts.	2235		
8	23	»	»	»	»		3048		
9	27	»	»	»	»		2450		
9	»	»	»	»	»		2421		
10	24	»	»	»	»		2578		
10	27	»	»	»	»		2397		
	123						13329	1960	195
mes orter	451						49374		

OURNEAUX AU COKE, MARCHANT L'UN A L'AIR FROID,
SINE DU CREUSOT. — *Du* 1[er] *mars au* 1[er] *Avril.*

FOURNEAU A L'AIR CHAUD.

Nombre de charges.	Consommation. Coke. en volume.	Coke. en poids.	Mine. en volume.	Mine. en poids.	Nature des chargements.	Fonte produite.	Pour 1000 kilog. consommation de coke.	Pour 1000 kilog. rendement de la mine.
	hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
37	7	200	26	468	4 roches, 20 bruts, 2 collonges.	3479	»	»
42	»	»	»	»		3680	»	»
29	»	»	»	»		3342	»	»
39	»	»	»	»		3626	»	»
43	»	»	»	»		2107	»	»
42	»	»	»	»		3313	»	»
36	»	»	»	»		3832	»	»
37	»	»	»	»		2877	»	»
37	»	»	»	»		4018	»	»
39	»	»	»	»		2950	»	»
38	»	»	»	»		3029	»	»
37	»	»	»	»		3191	»	»
36	»	»	»	»		3764	»	»
43	»	»	»	»		3411	»	»
535						46619	2300	186
39	7	200	26	468	4 roches, 22 bruts.	3264	»	»
37	»	»	»	»		3048	»	»
38	»	»	»	»		3696	»	»
38	»	»	»	»		3440	»	»
36	»	»	»	»		3342	»	»
39	»	»	»	»		2519	»	»
227						19309	2350	182
39	7	200	27	486	4 roches, 23 bruts.	3421	»	»
43	»	»	»	»		3029	»	»
82						6450	2540	162
844						72378		

FOURNEAU A L'AIR FROID.

DATES des coulées.	Nombre de charges.	Consommation. Coke. en volume.	Coke. en poids.	Mine. en volume.	Mine. en poids.	Nature des chargements.	FONTE produite.	Pour 1000 kilog. consommation de coke.	Pour 1000 kilog. rendement de la mine.
mars.		hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
Rep.	451						49374		
11	26	»	»	»	»	4 roches.	2715	»	»
11	24	»	»	»	»		2774	»	»
	50						5489		
12	24	7	200	29	522	4 roches, 25 bruts, 2 varennes.	2449	»	»
12	24	»	»	»	»		2627	»	»
13	27	»	»	»	»		2343	»	»
13	25	»	»	»	»		2676	»	»
14	25	»	»	»	»		2686	»	»
14	25	»	»	»	»		2970	»	»
	150						15751	1900	200
15	25	7	200	29	522	2 varennes, 4 roches.	2480	»	»
15	25	»	»	»	»		2637	»	»
16	25	»	»	»	»		2235	»	»
16	19	»	»	»	»		2411	»	»
17	22	»	»	»	»		2392	»	»
17	24	»	»	»	»		2235	»	»
18	19	»	»	»	»	25 bruts.	2695	»	»
18	20	»	»	»	»		2676	»	»
	175						19761	1760	21[illegible]
19	25	7	»	28	560	4 roches.	2000	»	»
19	25	»	»	»	»		2566	»	»
20	25	»	»	»	»		2570	»	»
	75						7136		
Rep.	901						97511		

FOURNEAU A L'AIR CHAUD.

Nombre de charges.	Consommation. COKE. en volume.	Consommation. COKE. en poids.	Consommation. MINE. en volume.	Consommation. MINE. en poids.	Nature des chargements.	FONTE produite.	Pour 1000 kilog. consommation de coke.	Pour 1000 kilog. rendement de la mine.
	hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
844						72378		
40	7	200	28	504		4108	»	»
41	»	»	»	»		3372	»	»
39	»	»	»	»		2637	»	»
39	»	»	»	»		3969	»	»
39	»	»	»	»		3960	»	»
40	»	»	»	»		2960	»	»
238						21006	2270	175
39	7	200	28	504	4 roches, 21 bruts, 2 varennes.	4107	»	»
35	»	»	»	»		3260	»	»
29	»	»	»	»		3225	»	»
34	»	»	»	»		2588	»	»
35	»	»	»	»		3127	»	»
38	»	»	»	»		2558	»	»
36	»	»	»	»		3038	»	»
39	»	»	»	»		4136	»	»
35	»	»	»	»		3225	»	»
39	»	»	»	»		3558	»	»
38	»	»	»	»		3136	»	»
37	»	»	»	»		3450	»	»
434						39408		
1516						132792		

FOURNEAU A L'AIR FROID.

DATES des coulées.	Nombre de charges.	Consommation. COKE. en volume.	Consommation. COKE. en poids.	Consommation. MINE. en volume.	Consommation. MINE. en poids.	Nature des chargements.	FONTE produite.	Pour 1000 kilog. consommation de coke.	Pour 1000 kilog. rendement de la mine.
mars.		hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
Rep.	901						97511		
20	25	»	»	»	»	2 varennes.	2529	»	»
21	26	»	»	»	»		2754	»	»
21	24	»	»	»	»		2725	»	»
22	24	»	»	»	»	22 bruts.	»	»	»
22	24	»	»	»	»		4906	»	»
23	26	»	»	»	»		»	»	»
23	26	»	»	»	»		5025	»	»
24	24	»	»	»	»	4 roches, 21 bruts, 2 varennes.	»	»	»
24	25	»	»	»	»		4847	»	»
25	46	»	»	»	»		4881	»	»
26	49	»	»	»	»		5126	»	»
27	48	»	»	»	»		5038	»	»
28	50	»	»	»	»		5008	»	»
29	48	»	»	»	»		5021	»	»
30	45	»	»	»	»		4294	»	»
31	44	»	»	»	»		4284	»	»
	554						56438	1975	481
Tot.	1455						153949		

Détermination du poids des conges vides et pleines, des charges de coke, etc.

Poids des conges vides :

56 conges	28 conges. . . .	168	338 kilog.
	28 *id.*	170	

1 conge vide pèse. 6

La mine qui y est contenue pèse. . . 18

Poids total. 24

Le poids brut de 28 conges pleines est. 672

FOURNEAU A L'AIR CHAUD.

Nombre de charges.	Consommation. Coke. en volume.	Consommation. Coke. en poids	Consommation. Mine. en volume.	Consommation. Mine. en poids.	Nature des chargements.	Fonte produite.	Pour 1000 kilog. consommation de coke.	Pour 1000 kilog. rendement de la mine.
	hect.	kilog.	conges de 18 kil.	kilog.				
1516						132792		
36	»	»	»	»	3 varennes.	3587	»	»
39	»	»	»	»		3421	»	»
41	»	»	»	»		»	»	»
40	»	»	»	»		7077	»	»
56	»	»	27	»	4 uoches, 21 bruts.	»	»	»
57	»	»	»	»		5283	»	»
58	»	»	26	»		»	»	»
39	»	»	»	»		6854	»	»
69	»	»	»	»		5876	»	»
64	»	21,0	»	»		5253	»	»
72	»	»	25	»		6244	»	»
68	»	»	»	»		6214	»	»
62	»	20,2	»	»		5175	»	»
57	»	»	26	»		5410	»	»
70	»	127	»	»		5901	»	»
768						66292	2275	165
2284						199084		

Poids de 8 rasses de coke faisant 7 hectolitres:

Brut. . . . . 220 kilog.

Net. 200

Le coke contenu dans une rasse pèse. . . 25 kilog.

TITRE II.

FABRICATION DU FER.

La fabrication du fer repose sur deux séries fondamentales de procédés, selon que les minerais employés sont riches ou pauvres en métal.

La première série des procédés a pour but la conversion directe du minerai en fer forgé, sans passer par l'état de fonte.

La seconde série de procédés a pour but la conversion de la fonte en fer forgé.

ARTICLE Ier. — TRAITEMENT DIRECT DES MINERAIS DE FER.

L'art de tirer directement le fer forgé du minerai porte le nom de *procédé catalan*, et les usines où l'on traite le fer pour arriver à ce résultat, portent le nom de *forges catalanes.*

Les forges catalanes s'emploient, à quelque modification près, dans le midi de la France, aux Pyrénées et en Sibérie. Ce procédé est exclusivement applicable aux minerais très-riches, tels que les fers oxidulés et l'œmathite rouge.

Il existe une variété du procédé catalan, dite *méthode allemande.*

Par la méthode allemande le minerai est d'abord soumis à une fusion dans des fourneaux appelés *stucophus.* On obtient un produit intermédiaire entre la fonte et l'acier, dont partie est à l'état malléable. Il faut alors purifier la matière, et on éprouve un très-grand déchet.

Cette méthode est pratiquée en *Carniole, Carinthie, Suède* et *Norwège.*

Par la méthode catalane proprement dite, les minerais sont préalablement préparés à la réduction ; à cet effet, ils sont soumis à trois opérations distinctes, savoir :

Le grillage ;
La macération ;
Le cassage.

La réduction se fait dans un creuset en fonte, dont la forme est celle d'un tronc de pyramide rectangulaire, à base renversée. Ce creuset est muni d'une tuyère.

L'opération se divise en deux périodes, dont la première, qui dure trois heures, a pour but de désoxider, puis carburer le minerai. La seconde, qui dure une heure, a pour but d'a-

mener les parcelles de mine disséminées à ne plus faire qu'une masse spongieuse appelée *masset*.

Le masset est alors porté sous le marteau, où il est comprimé d'abord à petits coups; puis, au fur et à mesure qu'il se refroidit, à coups de plus en plus violents, jusqu'à ce qu'il soit converti en une barre quarrée, ayant 0m,05 de côté et 0m,40 de long.

On divise ensuite les massets en deux *massoquets*, au moyen d'une tranche; on chauffe ces derniers et on les forge en barres au moyen d'un marteau moins lourd que le premier, et donnant un grand nombre de coups à la minute.

ARTICLE II. — TRAITEMENT DES FONTES POUR LES CONVERTIR EN FER FORGÉ.

Quelle que soit la nature de la fonte employée à fabriquer le fer, il faut qu'elle soit préalablement soumise à un affinage pour être traitée dans les fours réducteurs ordinaires dits de *puddlage*.

L'affinage a pour but de décarburer le fer et d'enlever les matières vitreuses.

On distingue différentes méthodes d'affinage :

1° Affinage opéré dans les feux de forge;
2° Mazeries.

L'affinage opéré dans les feux de forge se divise en deux classes.

L'affinage de la première classe se fait à une seule fusion, et à soulèvement de la masse fondue.

Les diverses variétés de cet affinage sont :

La méthode mi-Wallonne;
La méthode Wallonne;
La méthode des feux Basques;
La méthode Styrienne;
La méthode de Siégen;
La méthode d'Osmonde.

L'affinage de la deuxième classe se fait à deux fusions, savoir :

1° L'affinage à fusions opérées dans le même feu;
2° L'affinage dit Bergamaste;
3° L'affinage de Bohême et de Moravie;
4° L'affinage de la fonte pulvérisée;
5° L'affinage à double fusion dans des feux séparés;
6° Le mazéage de Styrie;
7° Le mazéage de Souabe.

La fonte est employée à l'état de *gueuses*, ou espèces de grands cylindres que l'on introduit dans un creuset ordinaire, par un trou pratiqué dans la plaque de *contrevent*. Il n'y a qu'une tuyère.

Le produit donné par le feu d'affinerie se nomme *loupe*, et pèse de 30 à 45 kilog. dans certains cas, et de 60 à 75 kilog. dans d'autres. L'opération dure de deux heures à deux heures et demie. La loupe, au sortir du feu d'affinerie, est livrée à la forge, dont nous parlerons plus loin.

Le mazéage s'emploie pour les fontes grises; il s'opère dans les mazeries.

Il consiste dans l'emploi de creusets *brasqués*, c'est-à-dire garnis intérieurement de charbon. La fonte y est déposée par masses liquides de 200 kil.; on recouvre le tout de charbon et on donne le vent.

Quand la fonte est bien chaude, on la prend avec des cuillères, puis on la jette sur des scories riches et des batitures qui s'y accolent. On projette de l'eau sur le tout, et on obtient un mélange qui porte le nom de *mazette*.

On prend la moitié de cette mazette et on la replace dans le foyer; on la recouvre de charbon et donne le vent. Elle perd alors tout son carbone et devient ce qu'on nomme un *mazot*, que l'on livre à la forge.

ARTICLE III. — OPÉRATIONS DE LA FORGE.

On distingue les forges en :

Forges allemandes,

Forges anglaises.

§ 1er. — FORGES ALLEMANDES.

Dans les forges allemandes, on se sert du marteau pour fabriquer le fer.

Les marteaux sont des masses de fonte assez considérables, mues par des machines. Parmi les marteaux on distingue :

Les gros marteaux,

Les martinets.

Les premiers sont destinés à chasser tout le laitier qui peut se trouver dans la masse de fer rouge qui est soumise à la percussion; les seconds sont destinés à tirer le fer en barres de toutes formes.

On distingue trois modes de transmission de mouvement aux marteaux : de là, trois systèmes de marteaux, savoir :

1° Les marteaux à soulèvement,

2° Les marteaux à bascule,

3° Les marteaux frontaux.

Les marteaux employés dans les forges françaises sont tous à soulèvement. L'ensemble de l'appareil qui sert à les maintenir et les mettre en mouvement, porte le nom de *ordon à drôme coupé*.

Le drôme est une grande poutre horizontale qui sert à relier tout le système, et qui autrefois traversait toute l'usine. Comme on l'a coupée au niveau de la tête du marteau, on la nomme maintenant *drôme coupé*.

En général, l'ordon à drôme coupé se construit tout en bois. Le marteau est porté à l'extrémité d'un manche dont l'autre bout est emmanché dans un œil, appelé *liard*, pratiqué dans une pièce de bois transversale, appelée *hurace*, ayant ses extrémités coniques et logées dans deux pièces de bois, appelées *jambes sous la main*, dans lesquelles elles peuvent librement tourner.

Le marteau reçoit son mouvement d'une *baque* en bois, armée de dents et montée sur l'arbre d'une roue hydraulique. Cette bague vient frapper sur le manche près de la tête du marteau.

Les martinets diffèrent des marteaux en ce qu'ils sont toujours à bascule, et se montent dans des cages qui sont les unes en bois, les autres en fonte.

Le poids des marteaux et martinets varie entre 25 et 200 kilogrammes. Le nombre des coups donnés par minute varie entre 100 et 300.

§ 2. — FORGES ANGLAISES.

Le travail des forges anglaises se divise en six opérations principales distinctes, savoir :

Mazéage des fontes ;
Puddlage des fontes ;
Scinglage des loupes ;
Laminage dégrossisseur ;
Ballage ou réchauffage ;
Laminage finisseur.

Le *mazéage* se fait dans des creusets à six tuyères. Quand la fonte est jugée suffisamment épurée, on la fait couler dans un bassin en fonte. Le laitier surnage ; afin d'en faciliter la séparation d'avec le métal, on projette de l'eau froide sur la matière en fusion ; puis, quand elle est refroidie, on la retire et la casse avec des marteaux.

Le *puddlage* est l'opération qui a pour but de retirer au métal les dernières portions de carbone qu'il contient encore. A cet effet, on place la fonte, sortie des mazeries, en morceaux de toutes grosseurs, sur la sole de fours à réverbère, dits *fours à puddler.* Quand la fonte est en fusion, ainsi que les laitiers dont on a soin de la recouvrir pour éviter le contact de l'air avec le métal, on la brasse avec un ringard jusqu'à ce qu'elle ait pris une consistance pâteuse qui permette de la réunir en une masse que l'on nomme *loupe*.

Le scinglage de la loupe se fait au moyen d'un marteau frontal du poids de 5000 kilogrammes, mis en mouvement par une machine à vapeur de 16 chevaux. Le but du scinglage est de faire sortir tous les laitiers et souder toutes les parties de la loupe, de manière à en faire une barre homogène de 10 centimètres d'équarrissage environ, et 30 centimètres de long.

Sitôt cette barre obtenue, sans qu'il soit nécessaire de la chauffer de nouveau, on la passe sous le laminoir dégrossisseur, où, de cannelures en cannelures, elle finit par devenir une longue barre de fer quarrée ou plate, suivant l'usage auquel on la destine.

Les barres provenant du laminoir dégrossisseur sont coupées, au moyen d'une cisaille, en bouts de 40 centimètres environ, que l'on réunit entre eux de manière à former des prismes à section quarrée, de 15 centimètres de côté environ, appelés *balles.* Ces balles sont placées dans un four appelé *four à réchauffer* ou *à baller*, où elles sont chauffées au rouge blanc, puis de là soumises au marteau et passées au laminoir, d'où elles sortent fer ballé. Si on veut obtenir du fer marchand, il faut les soumettre à un second ballage.

Pour la tôle, le nombre des réchauffages est plus considérable.

Pour les rails, on compose souvent les balles du four à réchauffer de deux bandes de fer ballé, entre lesquelles on place une épaisseur plus ou moins considérable de fer puddlé.

La forge anglaise donne lieu à beaucoup de déchets, que l'on divise en deux classes distinctes, savoir :

1° Les batitures et scories du marteau ;
2° La ferraille.

Les batitures et scories des marteaux sont prises par les

puddleurs, et retraitées par eux avec la fonte sortant des mazeries.

La ferraille est mélangée au fer ballé pour produire soit du fer marchand fin, soit de la tôle.

Pour bien faire comprendre le travail d'une forge anglaise, nous allons donner un tableau des opérations, telles qu'elles se pratiquent dans une forge en grande activité.

Soient : F, la quantité totale de fer employé à une fabrication donnée ;

R, la quantité totale de ferraille employée pour *dito*.

Décomposons F en quatre parties quelconques, et posons :

$$F = f + f' + f'' + f'''.$$

Décomposons R en deux parties aussi quelconques, et posons :

$$R = r + r'.$$

On a le tableau suivant :

Tableau des Opérations successives des mélanges et des produits d'une Forge anglaise.

MATIÈRES PREMIÈRES.

$R = r + r'$.	$F = f + f' + f'' + f'''$.
Cisaillage de R. Ballage de R. Laminage de R (dégrossisseur). Produit : fer ballé, dit *fer n° 2*.	Puddlage de F. Scinglage de F. Laminage de F (dégrossisseur). Produit : fer puddlé, dit *fer n° 1*.

Division de R, en :		*Division de F, en :*		
r . . . . et	. . . r'	$f + f'$	f'' et	f'''.
»	»	Cisaillage de f seul.	»	Cisaillage de f'''.
»	»	Ballage de f. *id.*	»	Ballage de f'''.
»	»	Laminage de f *id.*	»	Scinglage de f'''.
»	»	Produit : fer ballé, dit *fer n° 2*.	»	Produit : plaques pour grosse tôle.
»	Mélange de $r' + f + f'$.		»	Réchauffage de f'''.
»	Cisaillage de $r' + f + f'$.		»	Laminage de f''' (tôle).
»	Réchauffage de $r' + f + f'$.		»	Réchauffage de f'''.
»	Laminage de $r' + f + f'$ (finisseur).		»	Laminage de f''' (tôle).
»	Parage de $r' + f + f'$.		»	Récuisage de f'''.
»	Produit : fer marchand.		»	

Mélange de $r + f''$.
Cisaillage de $r + f''$.
Ballage de $r + f''$.
Laminage de $r + f''$ (finisseur).
Produit : bidons pour tôle mince.
Cisaillage de $r + f''$.
Réchauffage de $r + f''$.
Laminage de $r + f''$ (tôle).
Réchauffage de $r + f''$.
Laminage de $r + f''$ (tôle).
Produit : tôle mince.
Réchauffage de $r + f''$.
Laminage de $r + f''$ (tôle).
Réunissage des feuilles.
Découpage.
Parage.
Produit : tôle très-mince.

Découpage de f'''.
Parage de f'''.
Produit : grosse tôle.

Nous terminerons cet article par le compte de fabrication suivant, pour une année :

Compte de Fabrication pour une année.

NATURE DES MATIÈRES.	POIDS.	PRIX.		SOMMES partielles.		SOMMES totales.	
1° *Dépenses.*	kilog.	fr.	c.	fr.	c.	fr.	c.
Fontes mazées brutes et boccages.	4663500	126	87	591658	24		
Fontes blanches diverses.	784385	188	00	147464	38		
Rognures de tôle de divers.	45285	175	00	7924	87		
Scraps de l'usine.	35875	150	00	5381	25		
Fers du Berry pour mélanges.	1295	582	00	753	49		
	5530340			753182	25		
A déduire ce qui reste en magasin. . .	26751	220	00	5885	22		
Consommation réelle.	5503589	. .	.	. . .	.	747297	01
Houille. . . . . hectolitres	167675	0	65	. . .	.	108988	75
Moulages, pièces neuves reçues. . . . . kilog.	110254	350	00	38588	90		
A déduire : boccages rendus à la fonderie.	94169	150	00	14125	35		
Reste pour frais de moulages.	. . .	. .	.	. . .	.	24463	55
Fournitures du magasin, déduction faite des objets rendus.	. . .	. .	.	. . .	.	10129	60
Main-d'œuvre, appointements, manœuvres diverses.	. . .	. .	.	. . .	.	170278	70
Frais généraux.	. . .	. .	.	. . .	.	62449	22
Transports et frais divers.	. . .	. .	.	. . .	.	5093	17
Total des dépenses. . .				. . .	.	[illegible]	[illegible]

2° *Produits.*

Fers de 1re classe ou communs.		1782734						
— 2e — —		575828						
— 3e — —		491685						
— 4e — —		39660						
— 5e — ou finis.		308482						
Fers d'angle pour chaudières.		17485						
Rails.		53976						
Verges.		89477						
		3359327						
Tôles diverses.		468963						
Total des produits.		3828290						

3828290 : 1128700 :: 1000 : 294.83

Prix de revient de 1000 kilogrammes.							294	83
Pour 1000 kilog. il a fallu, fontes et fers divers.		1438	136	03	196	53		
Houille.	hectolitres	43.80	0	63	28	47		
Moulages.	6 f. 39 c.							
Fournitures.	2 65				69	83		
Main-d'œuvre.	44 48							
Frais généraux et divers.	16 31							
Somme égale.							294	83

Il faut compter 5 fr. par 1000 kilog., en plus, pour sable, chaux et briques, pour réparation des fours, donc :

1000 kilog., net 300 fr. 00

LÉGENDE EXPLICATIVE

DES PLANCHES XXVI ET XXVII RELATIVES A L'EXPLOITATION DES MINES.

Fig. 1. Coupe des couches de houille du Montceau (département de Saône-et-Loire). Cette coupe est prise suivant une ligne à peu près parallèle à la direction de son inclinaison, passant par le puits de la Maugrand, le Bure des femmes, la grande Traverse et le puits Saint-Pierre. — A, puits Saint-Pierre. B, puits de la Maugrand.

C, Petite faille de la traverse du fond du puits Saint-Pierre.

D, Petite faille de la rigole.

E, Grand cône de Saint-Pierre.

F, Grande traverse de la Pelouse.

G, Bure des femmes.

H, Grand cône de la vieille pompe.

I, Faille de la Maugrand.

Fig. 2. Coupe longitudinale des couches de houille de Lucy (Saône et Loire).

Fig. 3. Coupe verticale des couches de houille de Lucy.

Fig. 4. Coupe des couches de houille de Valenciennes, suivant la ligne A, B, C, D, E, F de la *figure* 5 du plan.

A, Terrain houiller.

B, Couches horizontales, dites : Terrain mort.

Fig. 5. Plan des couches houillères de Valenciennes.

Fig. 6. Plan des couches de houille de Mons.

Fig. 7. Coupe verticale des couches de Mons, suivant les lignes M, NO, PQ du plan (*fig.* 6).

A, Terrain houiller.

Fig. 8. Système d'exploitation de la houille à Newcaste.

AB, Ligne de direction des couches.

Fig. 9. Système d'exploitation dans le Yorkschire.

Fig. 10. Couche de fer hydroxidé, dans la vallée du Rhin.

AB, Marnes diluviales.

C, Sables molasses.

D, Conglomérat calcaire.

E, Argile sableuse.

F, Couche de minerai de fer.

G, Terrain jurassique.

Fig. 11. Gisement du minerai de fer d'alluvion dans l'arrondissement d'Avesnes (département du Nord), Coupe idéale suivant une ligne perpendiculaire à la direction du soulèvement.

A, Terrain tertiaire.

B, Schiste de transition.

C, Minerai de fer.

D, Calcaire de transition.

Fig. 12. Mode d'exploitation employé dans la masse du minerai. — A, Terrain tertiaire. B, masse de minerai. *cc*, schiste et calcaire de transition.

Fig. 13. Filons amphiboliques de blende et de galène dans le Campigliesse, en Toscane.

A, B, Calcaires jurassiques métamorphiques, au milieu desquels se rencontrent les filons blendifères et hombifères.

Fig. 14. Coupe du terrain houiller de Decazeville (département de l'Aveyron).

A, Granit et gneiss.

B, Porphyres.

C, Conglomérats porphyriques.

D, Serpentine.

E, Gneiss.

F, Grès rouge.

G. Terrain jurassique.

N°s 1. Houillère Lagrange.

2. — — de Tramont.

3. — — de Paleyrer.

4. Couche de minerai de fer carbonaté.

5. Filon de fer oxidulé dans la serpentine.

Fig. 15. Gisement de la calamine en Silésie. Plan.

a, Ville de Tarnowitz.

b, — de Beuthen.

c, Gîte de calamine.

d, Marie-Grube.

e, Elisabeth-Grube.

A, Terrain houiller.

B, Calamine rouge, correspondant à la lettre *a* dans les *figures* 17, 18, 19, et 20.

C, Calamine blanche, correspondant à la lettre *b*, dans les *figures* 17, 18, 19 et 20.
D, Calcaire jurassique.
E, Muschelkalk.
F, Dolomie.
G, Sables et argiles.

Fig. 16 et 17. Coupe traversant tout le gîte connu. N. N E. S S. O.

Fig. 18. Coupe du nord au sud passant par les mines Marie et Elisabeth.

Fig. 19. Coupe de l'est à l'ouest, passant par les mines Scharleg et Wilhelmine.

Fig. 20. Coupe de l'est à l'ouest, passant par la mine Marie.

Fig. 21. Filons métallifères dans la dolomie.

Fig. 22. Gisement du cuivre à Chessy (Rhône).
a, Mine jaune représentée en plan par *a'*.
b, Eurite quartzifère.
c, Mine noire.
d, Mine rouge.
e, Mine blanche.
f, Lias.
g, Grès bigarré.
h, Granite.

Fig. 23. Gîte de fer hydroxidé dans le calcaire jurassique.

Fig. 24. Coupe des couches de sel gemme de Nortwich, près Liverpool.

	pieds angl.	mètres.
a, calcaire marneux avec fossiles, argile rouge endurcie.	26,60	7,98
b, Marne argileuse micacée, verte et rouge.	2, »	0,60
c, Marnes irisées (redmarl) contenant beaucoup de gypse.	8, »	2,40
d, Marnes irisées avec gypse et sel gemme.	16,60	4,98
e, Marnes micacées.	4, »	1,20
f, Marnes endurcies, avec gypse.	7, »	2,10
g, Marne endurcie bitumineuse.	15, »	4,50
h, Argile avec sable, gypse et sources très-abondantes	13, »	3,90
i, Suites de couches de marnes bleues avec sable et gypse.	31, »	9,30

j,	Premier banc de sel.	75, »	22,50
k,	Argile brune, rouge, et veines de sel et de gypse.	31,60	9,48
l,	Deuxième couche de sel (elle n'a pas été exploitée dans toute son épaisseur)	108, »	32,40

Fig. 25. Coupe des couches de sel gemme de Vic (département de la Meurthe).

		mètres.
a,	Grès bigarré.	14, »
b,	Calcaire coquillier.	0,11
c,	Argiles grises, rouges salifères mélangées de gypse.	39,65
d,	Calcaire et argile salifère.	3,03
e,	Argile salifère	8,05
f,	Première couche de sel	3,64
g,	Deuxième couche de sel avec argile et gypse.	5,00
h,	Argile et gypse.	1,43
i,	Troisième couche de sel	14,03
j,	Argile et gypse.	1,43
k,	Quatrième couche de sel avec argile et gypse.	7,40
l,	Cinquième couche de sel.	7,16
m,	Argile et gypse.	?

Les couches n'ont été recherchées qu'à la profondeur de 104 mètres 97.

Fig. 26. Masses de sel gemme dans la vallée de Cardonne (Espagne).

a c, Grès.
b d, Calcaire.
e f e, Masse de sel gemme.

Fig. 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 et 34. Différents systèmes de boisages employés dans les mines.

Fig. 35, 36, 37 et 38. Lampe de sûreté de Davy, avec ses détails.

Fig. 39, 40 et 41. Lampe de sûreté de M. Dumesnil; plan, coupe et élévation.

LÉGENDE EXPLICATIVE

DE LA PLANCHE XXVIII RELATIVE A LA MÉTALLURGIE DU FER.

Fig. 1, 2, 3 et 4. Profils de hauts-fourneaux au coke.
Fig. 1. Horsley.
Fig. 2. Lavoulte.
Fig. 3. Raveaux.
Fig. 4. Pentwyn.
Fig. 5. Profil de haut-fourneau au coke et au charbon de bois, établi à *Hayange*.
Fig. 6, 7 et 8. Profils de hauts-fourneaux au charbon de bois.
Fig. 6. Harz.
Fig. 7. Obéreichstadt.
Fig. 8. Château-Vilain.

Les cotes des figures ci-dessus sont en centimètres.

Fig. 9 et 10. Haut-fourneau au coke.
Fig. 11 et 12. Haut-fourneau au charbon de bois.
Fig. 13 et 14. Four à puddler ordinaire.
Fig. 15. Four à puddler, avec chauffage de chaudière par la flamme perdue.
Fig. 16. Le même, système de C. E. Jullien, avec tirage pendant la chauffe.
Fig. 17 à 24. Tenailles diverses pour la forge anglaise, à l'échelle de $^1/_{27}$.
Fig. 17. Ecrevisse pesant 12 kilogrammes.
Fig. 18. Tenaille à chauffer, 30 kilogrammes.
Fig. 19. *Id.* *Id.* 17 —
Fig. 20. *Id.* *Id.* 9 —
Fig. 21. Tenaille à forger, 11 kilogrammes.
Fig. 22. *Id.* *Id.* 12 —
Fig. 23. *Id.* *Id.* 12 —
Fig. 24. *Id.* *Id.* 11 —

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE SECOND VOLUME.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA DU PREMIER VOLUME.

Pages.	Lignes.	Au lieu de :	Lisez :
3	1	(*Pl.* XVI)	(*Pl.* XXII.)
3	5	l'autre *inférieure* B;	l'autre *inférieure* D.
4	9	$\sqrt[x']{n} = \sqrt[x]{n'}$	$\sqrt[x]{n} = \sqrt[x']{n'}$
7	2	(*Pl.* XVI),	(*Pl.* XXII.)
78	14	$\frac{u^m + 1}{m + 1}$,	$\frac{u^{m+1}}{m + 1}$
204	21	1813,	1810.
204	23	(*Pl.* XVIII, *fig.* 1 et 2),	(*Pl.* VIII, *fig.* 41 et 42.)
259	30	*fig.* 20 et 21, (*Pl.* XIX),	*fig.* 20 et 21, (*Pl.* XXV.)
260	3	*fig.* 22 et 23 (*Pl.* XIX),	*fig.* 22 et 23, (*Pl.* XXV.)

BAR-SUR-SEINE. — IMP. DE SAILLARD.